MA2012-4

船 舶 事 故 調 査 報 告 書

平成２４年４月２７日

運輸安全委員会
Japan Transport Safety Board

（東京事案）

1　貨物船SINGAPORE GRACE作業員死亡

（地方事務所事案）

函館事務所

2　漁船第七十七北鳳丸火災

3　漁船第７春代丸転覆

仙台事務所

4　漁船第１八幡丸乗組員負傷

5　貨物船ATLANTIC PEARL陸上荷役施設損傷

横浜事務所

6　漁船勝栄丸転覆

7　貨物船第三英裕丸ヨットシャロンⅤ衝突

8　漁船勘十郎丸乗組員死亡

9　遊漁船宝成丸モーターボート尾崎衝突

10　セメント運搬船陸龍丸ケミカルタンカーJUSTINE衝突

11　貨客船さるびあ丸旅客船ヴァンテアン衝突

12　モーターボートＩWABUCHＩ同乗者死亡並びに乗組員及び同乗者行方不明

13　油タンカー栄豊丸乗組員死亡

14　ケミカルタンカーCRANE GAIA衝突（桟橋）

神戸事務所

15　プレジャーモーターボートＭＩＹＵＫＩⅡ衝突（消波ブロック）

16　コンテナ船ＤＡ　ＰＩＮＧ漁船第二大栄丸衝突

17　石材砂利運搬船第八勝丸衝突（防波堤）

18　水上オートバイでこ吉田水上オートバイｈｉｄｅ衝突

19　漁船第５住本丸ミニボート（船名なし）衝突

広島事務所

20　旅客フェリーおれんじぐれいす衝突（岸壁）

21　漁船１０５祐生丸乗揚

22　交通船第十八あき丸衝突（岸壁）

23　貨物船共和丸漁船明神丸衝突

24　漁船第八日真丸乗揚

25　モーターボート工隆丸Ⅲ乗揚

26　モーターボート海神丸衝突（かき筏）

27　プレジャーモーターボートさんぴか号衝突（岩場）

28　巡視艇みつかぜ乗揚

門司事務所

29　漁船恵比須丸転覆

30　旅客船なんごう２プレジャーボートみお丸衝突

31　押船明神丸バージみょうじん漁船征幸丸衝突

32　水上オートバイよしき丸海水浴客負傷

33　漁船豊漁丸乗組員死亡

34　旅客フェリーフェリーきょうと２乗組員負傷

長崎事務所

35　漁船京香丸乗組員行方不明

36　漁船海光丸乗組員行方不明

37　漁船茂福丸漁船辰豊丸衝突

38　モーターボート匠乗組員死亡

39　漁船吉栄丸火災

40　モーターボート和丸乗組員死亡

41　漁船泰進丸漁船礼喜丸衝突

本報告書の調査は、本件船舶事故に関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、船舶事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会
委員長　後藤昇弘

≪参　考≫

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「３　分　析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

① 断定できる場合
・・・「認められる」

② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」

③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」

④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

１　貨物船SINGAPORE GRACE作業員死亡

船舶事故調査報告書

船 種 船 名　貨物船　SINGAPORE GRACE
ＩＭＯ番号　９２２４０９９
総 ト ン 数　１５,０７１トン

事 故 種 類　作業員死亡
発 生 日 時　平成２１年６月１３日　０８時３０分ごろ
発 生 場 所　大分県大分市　佐賀関港
日鉱製錬株式会社佐賀関製錬所構内原料受入岸壁（広浦Ａ岸壁）
（概位　北緯３３°１５.４′　東経１３１°５２.１′）

平成２４年３月１５日
運輸安全委員会（海事部会）議決
委　員　長　後　藤　昇　弘
委　　員　横　山　鐵　男（部会長）
委　　員　庄　司　邦　昭
委　　員　石　川　敏　行
委　　員　根　本　美　奈

目　次

1　船舶事故調査の経過 …… 1
1．1　船舶事故の概要 …… 1
1．2　船舶事故調査の概要 …… 1
1.2.1　調査組織 …… 1
1.2.2　調査の実施時期 …… 1
1.2.3　調査の委託 …… 1
1.2.4　調査協力等 …… 1
1.2.5　経過報告 …… 2
1.2.6　原因関係者からの意見聴取 …… 2
1.2.7　旗国等への意見照会 …… 2

2　事実情報 …… 2
2．1　事故に至る経過 …… 2
2.1.1　本船の運航の経過 …… 2
2.1.2　荷役作業等の状況 …… 6
2.1.3　救助に関する情報 …… 14
2.1.4　通報及び救急措置に関する情報 …… 16
2．2　人の死亡に関する情報 …… 18
2.2.1　医療機関における状況 …… 18
2.2.2　死亡原因に関する情報 …… 19
2．3　主たる作業員に関する情報 …… 20
2．4　乗組員に関する情報 …… 21
2．5　船舶等に関する情報 …… 22
2.5.1　船舶の主要目 …… 22
2.5.2　船舶に関するその他の情報 …… 23
2.5.3　貨物及び貨物の積載状態 …… 24
2．6　貨物等に関する情報 …… 26
2.6.1　本船が積載した貨物に関する情報 …… 26
2.6.2　ＢＣコードの記載について …… 27
2.6.3　国際海上固体ばら積み貨物規則の記載について …… 28
2.6.4　本船が積載した貨物の臭気等に関する情報 …… 29
2.6.5　浮遊選鉱等に関する情報 …… 30

2.6.6　銅精鉱の酸化及び還元に関する情報　…… 31
２．７　社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）による銅精鉱の調査… 32
2.7.1　調査に用いた試料　…… 32
2.7.2　調査方法と得られた結果　…… 33
２．８　酸素欠乏症及び硫化水素中毒について　…… 36
２．９　本件荷役会社の労務管理について　…… 37
２．１０　酸素濃度測定の実態など　…… 40
２．１１　本船以外の船舶の酸素濃度等に関する情報　…… 43
２．１２　揚荷役作業に関する情報　…… 44
2.12.1　揚荷役作業基準　…… 44
2.12.2　揚荷役手順の変更　…… 44
２．１３　安全保護具などに関する情報　…… 45
2.13.1　酸素濃度計測器　…… 45
2.13.2　自蔵式空気呼吸器　…… 45
2.13.3　自蔵式空気呼吸器の装着訓練等　…… 46
２．１４　荷役関係者又は本船乗組員が救助に向かうことに関する情報　…… 47
２．１５　貨物倉の換気等に関する情報　…… 48
２．１６　気象及び海象に関する情報　…… 48

３　分　析　…… 49
３．１　事故発生の状況　…… 49
3.1.1　事故に至る経過　…… 49
3.1.2　事故発生日時及び発生場所　…… 50
3.1.3　死傷者等の発生に関する解析　…… 50
３．２　事故要因の解析　…… 51
3.2.1　本船の運航状況に関する解析　…… 51
3.2.2　委託調査の結果から想定できる３番貨物倉の雰囲気　…… 52
3.2.3　ハッチカバー開放後の３番貨物倉の雰囲気　…… 53
3.2.4　揚荷役作業及び事故発生等に関する解析　…… 54
3.2.5　３番貨物倉の酸素濃度の計測等に関する解析　…… 55
3.2.6　酸素欠乏症等に関する知識　…… 57
3.2.7　３番貨物倉の雰囲気の把握及び同貨物倉に入った要因等　…… 58
3.2.8　事故発生に関する解析　…… 59
3.2.9　本船乗組員及び代理店担当者が酸素欠乏状態を認識した状況　…… 62
３．３　その後の事故の発生を回避した状況に関する解析　…… 62

３．４　荷役関係者又は本船乗組員が救助に向かうこと等に関する解析 ・・・・・・・ 63
３．５　一次事故等の回避及び同種事故を将来回避するための措置に関する解析・ 64
3.5.1　一次事故等の回避 ・・・・・・・

9.1.7　安全衛生保護具の補充 …… 77
9.1.8　作業標準書 …… 77
９．２　管理及び監督 …… 77
９．３　教育等 …… 77
９．４　将来における重大事故の回避 …… 78

付図　要因相関図 …… 79

別添　銅精鉱分析調査資料　抜粋 …… 1/21～21/21

1　船舶事故調査の経過

1.1　船舶事故の概要

貨物船SINGAPORE GRACE（シンガポール　グレース）は、硫化銅精鉱の揚荷役のために佐賀関港の岸壁に係船中、平成２１年６月１３日０８時３０分ごろ、作業員の１人が荷役作業に当たるため、３番貨物倉内の梯子を降りている途中で倒れ、救助に向かった他の作業員３人のうち、２人も貨物倉内で倒れた。

倒れた３人の作業員は、３番貨物倉から救助されたが、その後、いずれも死亡が確認された。

1.2　船舶事故調査の概要

1.2.1　調査組織

運輸安全委員会は、平成２１年６月１３日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか２人の船舶事故調査官を指名し、また、本事故の調査には、１人の地方事故調査官（門司事務所）が加わった。

1.2.2　調査の実施時期

平成２１年６月１３日、１４日及び１１月２８日　現場調査及び口述聴取

平成２１年６月１５日、１６日、２５日、９月１０日、１１日、１０月２日、１１月２６日、２７日、３０日、平成２２年１月２８日、２月５日、１１月２６日　口述聴取

平成２１年６月１９日、１０月７日、１３日、２８日、１１月６日、１６日、１７日、１２月１４日、平成２２年１月２５日、３月１日、１８日、７月１９日、１０月２２日　回答書受領

平成２１年９月１２日、平成２２年３月３０日、３１日　現場調査

平成２２年２月２５日、５月１７日、６月９日　分析用試料（浮遊選鉱剤）受領

1.2.3　調査の委託

当委員会は、本事故の調査分析に当たり、社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）に対し、本船に積載していた銅精鉱の性状及び当該銅精鉱が貨物倉など密閉区画の環境（雰囲気）に及ぼす影響について、調査を委託した。

1.2.4　調査協力等

オーストラリア連邦の事故調査機関（ＡＴＳＢ，Australian Transport Safety Bureau）に対し、浮遊選鉱剤の手配を依頼した。

1.2.5　経過報告

平成２２年７月３０日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.6　原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

1.2.7　旗国等への意見照会

(1)　旗国

中華人民共和国香港特別行政区政府当局（事故調査機関：Marine Accident Investigation Section, Marine Department, the Government of the Hong Kong Special Administrative Region）に対し、意見照会を行った。

(2)　調査協力国

オーストラリア連邦の事故調査機関（ＡＴＳＢ）に対し、意見照会を行った。

２　事実情報

２．１　事故に至る経過

本事故が発生するまでの経過は、SINGAPORE GRACE（以下、５章及び６章を除き「本船」という。）の船長、一等航海士、三等航海士、甲板部員３人、日照港運株式会社（以下、５章を除き「本件荷役会社」という。）の役員２人、管理職社員１人及び作業員５人、日鉱製錬株式会社（以下、５章及び６章を除き「本件製錬所」という。）の社員３人及び日本マリン株式会社（以下「本件代理店」という。）の社員２人の口述及び回答書並びに本船の荷役日誌、積載港（以下「積地（つみち）」という。）における報告書等（用船契約書、航海日誌、乗組員名簿、CARGO PLAN、通信記録等）によれば、次のとおりであった。

なお、時刻は、それぞれ現地の標準時で示し、パプアニューギニア独立国の標準時と日本標準時との時差は＋１時間である。

2.1.1　本船の運航の経過

(1)　本船の硫化銅精鉱（以下、５章～７章を除き「銅精鉱」という。）の輸送に至る経緯

船長は、２００９年５月１５日、本船が銅精鉱*1（Copper Concentrate）２１，６００メトリックトン*2（mt）をパプアニューギニア独立国のポートモレスビー港で積載し、佐賀関港及び大韓民国の温山（オンサン）港で１０，８００mt ずつ揚荷する旨を記載した本件航海の指図書（さしずしょ）（Voyage Instruction）を用船者から受けた。

船長は、５月１９日、本件航海の概要を船舶管理会社に連絡するとともに、銅精鉱の性状及び運送上の安全に関する留意事項を問い合わせた。

船舶管理会社は、船長に対し、荷送人*3Ok（オク） Tedi（テディ） Mining（マイニング） Limited（リミテッド）（以下、６章を除き「本件荷送人」という。）に製品安全データシート*4（Material Safety Data Sheet。以下「ＭＳＤＳ」という。）を要求すること、「固体ばら積み貨物の安全規則*5（以下「ＢＣコード」という。）」を参照することのほか、次の留意事項（*CARRIAGE*）等を伝えた。

① ハッチカバー*6の合わせ目が水密であることを確認すること。

② 必要であれば、ハッチカバーの合わせ目を（テープ等で）シールすること。

③ 貨物が液状化していないか継続して点検すること。

④ 貨物倉の換気をしてはならないこと。

なお、船長は、佐賀関港で１番及び３番貨物倉の貨物全量を揚げたのち、温山港で２番及び４番貨物倉の貨物全量を揚げ切る計画とした。

(2) 積荷役前の貨物倉の状況

本船の乗組員は、ポートモレスビー港での積荷役に備え、本件航海の直前

---

*1 「銅精鉱」とは、銅鉱石から選鉱によって無用な鉱物を除去し、有用鉱物を濃縮したものをいい、一般に粒径は小さい。選鉱には、浮遊選鉱（2.6.5 参照。）、比重選鉱、手選鉱などがあり、銅精鉱には、浮遊選鉱が広く用いられている。

*2 「メトリックトン」（mt、MT）とは、キログラム（kg）を基準に定義された質量の単位をいう。１メトリックトンは、１０００キログラム（１メガグラム）に等しいと定義される。

*3 「荷送人」（Shipper）とは、貨物の持ち主であり、貨物輸送の依頼主をいう。海外輸送の場合の輸出元に相当する。

*4 「製品安全データシート」とは、化学物質や化学物質が含まれる原材料などを安全に取り扱うために必要な情報を記載した資料をいう。

*5 「固体ばら積み貨物の安全規則」（Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargo；BC CODE）とは、国際海事機関（International Maritime Organization:ＩＭＯ）が、浮遊選鉱により得られる精鉱その他の航海中に液状化するおそれのある微細な貨物、ばら積み運送される化学的危険性を有する固体物質（危険物）、ＭＨＢ（Material Hazardous only in Bulk;ばら積み時のみ危険となる物質）及び船体傾斜により容易に移動する貨物の運送要件を定めた任意規定であり、2011 年 1 月 1 日より、ばら積み貨物の船舶運送の安全向上化を図るため、同規定が「国際海上固体ばら積み貨物コード」（THE INTERNATIONAL MARITIME SOLID BULK CARGOES CODE；IMSBC CODE）として強制化されることとなった。「国際海上固体ばら積み貨物コード」については、脚注 41 参照。

*6 「ハッチカバー」とは、貨物倉へ貨物を搬入、搬出するための開口（ハッチ）を塞ぐ蓋（鋼製板など）をいう。

の航海で積載した鉄鉱石の残貨（ざんか）との混載を避けるため、同港に向かう航海中、全貨物倉（１番～４番貨物倉）の掃き掃除、海水洗浄、清水洗浄及び乾燥を順に実施したのち、貨物倉後部隔壁両舷付近に設けたビルジウエル*7内部の掃除及びバーラップ*8の装着を行った。

(3)　積荷役の状況

本船は、船長ほか２１人が乗り組み、ポートモレスビー港に空船で入港し、銅精鉱貯蔵船ERAWAN（エラワン）に横着けで係船した。

本船は、サーベイヤー*9による貨物倉の検査の結果、状態が良好であると認められ、５月２８日２３時１８分に積荷役を開始した。

積荷役は、ERAWAN のクレーン２台を用いて同船に貯蔵する銅精鉱を本船の４番、２番、３番、１番貨物倉へ順に積載した後、残りの貨物を適宜各貨物倉に振り分けて計画した出港コンディション（喫水、トリム、船体強度）になるように続けられた。

荷役期間中の天候は、晴れ又は曇りで降雨はなく、本船に積み込まれた銅精鉱に水濡れはなかった。

本船は、５月３１日２０時３６分に銅精鉱２１，６００mt を積載して荷役を終了し、翌６月１日１１時３９分にほぼ満船の状態で最初の寄港地である佐賀関港に向けてポートモレスビー港を出港した。

(4)　航海中に遭遇した海象

本船は、天候を考慮した最適航路情報サービス*10を利用して航行した。

本船は、出港直後より、風力６～７の東南東の風が吹く天候に遭遇し、ピッチング（縦揺れ）及びローリング（横揺れ）を軽減するために針路及び速力を調整しながら、概ね船首方からうねりを受けて航走した。

本船がしぶきを浴びる等した状況は、次のとおりであった。

６月１日１９時２５分ごろ、風力７の東南東の風が吹く中を航走し、上甲板が、常時、波で洗われ、しぶきを浴びた。

上甲板が波で洗われ、しぶきを浴びた航海は、３日０４時ごろまで続いた。

---

*7　（貨物倉後部隔壁の両舷付近に設けた）「ビルジウエル」とは、貨物倉の水分（ホールドビルジ：水垢や貨物付着水分など）を集める区画をいう。

*8　「バーラップ」とは、ビルジウエルの蓋から貨物粉がビルジウエル内に入り込んでビルジ吸入口の目詰まりが生じないようビルジウエルの蓋を覆う麻生地をいう。

*9　「サーベイヤー」（Surveyor）とは、貨物の倉内積み付けの適否、貨物事故（カーゴダメージ：貨物の腐敗、潮濡れ等）発生時の検定のほか、喫水の立ち会い測定を行い、喫水計算による積荷量及び揚荷量の検量などを行う者のことをいう。

*10　「最適航路情報サービス」とは、波浪及び海上風予測などの気象海象予測情報及び船舶動静情報をもとに最適航路を選択し、船舶及び運航管理会社等に提供する事業をいう。

８日０４時～０８時の間、時々、船首楼甲板、上甲板及び１番～３番貨物倉のハッチカバーが波で洗われ、しぶきを浴びた。

１１日０８時～１２時の間、時々、船首楼甲板左舷側及び１番貨物倉のハッチカバーがしぶきを浴びた。

１１日１２時～１６時の間、船首楼甲板右舷側及び上甲板がしぶきを浴びた。

１１日２０時～２４時の間、時々、船首楼甲板左舷側、１番及び２番貨物倉付近がしぶきを浴びた。

１２日０４時～０８時の間、上甲板左舷側及び１番貨物倉のハッチカバーが波で洗われ、しぶきを浴びた。

(5)　佐賀関港入港の状況

本船は、６月１２日１５時３６分に航進時間*11終了及びスタンバイエンジン*12とし、１７時２５分に水先人を乗せ、１９時０６分に検疫錨地で投錨して待機した。

本船は、翌１３日０６時５０分ごろに水先人が乗船し、抜錨して日鉱製錬株式会社佐賀関製錬所構内の原料受入岸壁（以下、５章及び６章を除き「専用岸壁」という。）に向かい、０７時３０分最初の係船索を専用岸壁に送り、０７時４８分に係船作業を終えた。

(6)　揚荷役準備の状況

一等航海士は、係船作業を終え、０７時５０分過ぎごろ、サーベイヤーと本船の喫水を読み取ったのち、予めフォアマン*13と打ち合わせていた貨物の揚荷計画（Discharging Plan）に則り、当港で揚荷する予定の１番及び３番貨物倉のハッチカバーの開放を乗組員に命じた。

本船は、最初に１番貨物倉のハッチカバーを開放し、その３～５分後の０８時０５分ごろに３番貨物倉のハッチカバーを開放した。

本船は、ハッチカバーをポートモレスビー港で積荷役を終えて閉鎖して以来、初めて開放したが、開放した際、１番貨物倉のハッチカバー裏面に結露水を認めなかったものの、３番貨物倉のハッチカバー裏面から多量の結露水

---

*11　「航進時間」とは、通常、出港後、目的地に向けて前進を始めたときから、目的地手前で機関準備とし、又は機関の運転状態を最初に変更したときまでの時間をいう。船会社又は運航契約によって異なる。

*12　「スタンバイエンジン」（standby engine、機関準備）とは、いつでも主機の停止、前後進などの操作を行うことができる状態にすることをいう。

*13　「フォアマン」（Foreman）とは、船会社、代理店又は荷主と出入港日時及び作業予定の打合せを行うとともに、一等航海士と入港後の荷役手順、安全作業などの打合せを行い、荷役を監督する者をいう。

が流れ落ちた。

また、１番及び３番貨物倉に積載した貨物は、潮濡れ*14によるカーゴダメージはなかった。

2.1.2　荷役作業等の状況

(1)　揚荷役の方法

本件荷役会社は、以下の手順で揚荷役を行う予定であった。

①　フォアマンは、本船乗組員にハッチカバーを開放させる。

②　フォアマンは、貨物倉内の酸素濃度を計測する。

③　フォアマンは、荷役を行う貨物倉の昇降口を開放し、他の昇降口を閉鎖する。

④　フォアマンは、昇降口に表示板を掲示する。(2.1.2(4)参照)

⑤　油圧ショベル（以下「重機車両」という。）を本船クレーンで吊って貨物倉へ搬入する。

⑥　重機車両で貨物（銅精鉱）を貨物倉中央部へ寄せる。

⑦　陸上クレーンのグラブバケット*15で貨物をつかんで岸壁に設置したホッパーへ貨物を落とし込む。

⑧　⑥及び⑦を適宜繰り返す。

⑨　グラブバケットだけでは取り切れなかった貨物倉の残貨物をスコップやほうきで寄せ集めてグラブバケットで揚げ切る。

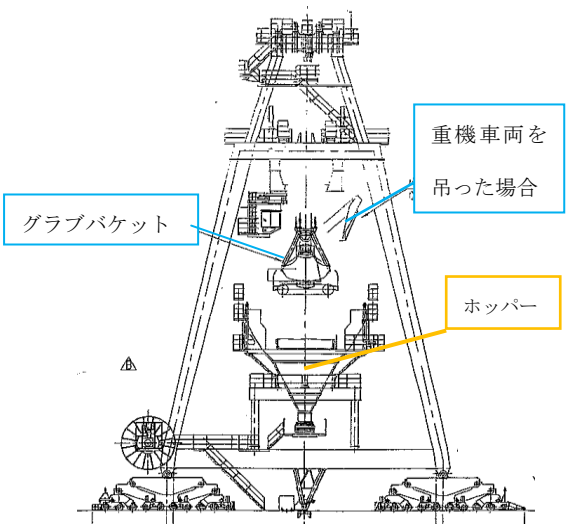
（次写真等　『他船の揚荷役状況』、『重機車両』、『クレーン全体配置図　抜粋』、『グラブバケット、ホッパー』　参照）

『他船の揚荷役状況』

『重機車両』

*14　「潮濡れ」（sea water damage）とは、貨物倉に入った海水により貨物が濡れる貨物事故（カーゴダメージ、cargo damage）をいい、貨物事故と認められた場合、処理費用を保険請求する等の措置がとられる。

*15　「グラブバケット」とは、クレーンで石炭、鉱石などのばら積貨物を船積み及び陸揚げする際、クレーンの先端に取り付けるつかみ用の器具をいい、二枚貝のように開閉する仕様のものなどがある。



『クレーン全体配置図　抜粋』

『グラブバケット、ホッパー』

(2)　作業班の構成

本件荷役会社の作業員のうち以下の７人は、６月１３日の０７時～１５時までの間、本船の揚荷役に当たる予定で作業班（以下「本件作業班」という。）を構成した。

①　フォアマン（罹災者。荷役監督）

②　３番貨物倉の重機車両運転手（罹災者。以下「運転手Ｂ」という。）

③　陸上クレーンの上位職の操作員（罹災者。以下「操作員Ｃ」という。）

④　本船クレーンの操作員（以下「操作員Ｄ」という。）

⑤　１番貨物倉の重機車両運転手（以下「運転手Ｅ」という。）

⑥　陸上クレーンの操作員（以下「操作員Ｆ」という。）

⑦　重機車両の玉掛け*16作業などを担当する作業員

(3)　揚荷役作業の打合せ

本件作業班は、０７時００分ごろから専用岸壁そばに建つ荷役事務所での打合せに参加した。

フォアマンは、本件作業班の各員に担当作業を割り振り、作業内容を説明した。また、作業員は、重機車両及びクレーンの動きに注意すること、玉掛け作業は確実に行うこと、連絡を確実に行うこと、及びグラブバケット下方での作業を行わないことを互いに確認した。

(4)　係船作業及びハッチカバーの開放

本件作業班は、０７時１０分～３０分ごろの間、揚荷役に先立ち、陸上クレーンのグラブバケットを大容量（９００ｔ/h、橋形アンローダ）のものに

*16　「玉掛け」とは、重機車両などをクレーンで吊ることができるよう、ワイヤスリング（鋼索の両端をアイ加工したもの）をクレーンのワイヤと重機車両などに取り付けることをいい、重機車両については、そのアイプレートとワイヤスリングを金具（シャックル）でつなぐ方法などがある。

取り替え、０７時３０分～５０分ごろの間、本船の係船作業に従事した。

フォアマンを除く本件作業班は、０７時５０分～０８時１０分ごろまでの間、荷役事務所付近でハッチカバーが開放されるのを待った。

フォアマンは、０７時５０分過ぎごろ本船に乗船し、一等航海士は、ハッチカバーの開放を乗組員に命じた。

１番及び３番貨物倉の昇降口（エントランスハッチ）には、「*荷役作業中　ここは荷役作業員に許可された入り口です*」と記載された表示板（以下「進入許可表示板」という。）が掲示されて当該昇降口の蓋は開放し、他の全ての昇降口には、「*立ち入り禁止　ここは荷役作業員の立入禁止区域です*」と記載された表示板が掲示されていた。

（次写真　『昇降口』、『表示板』　参照）

『昇降口』

『表示板』（左方が進入許可表示板）

(5)　荷役に先立つ酸素濃度の計測

フォアマンは、荷役事務所に戻り、荷役に先立って計測した貨物倉の酸素濃度を酸素濃度測定記録簿（以下「記録簿」という。）に記入した。

記録簿には、次のことが記入されていた。

①　１番貨物倉

両舷ハッチコーミング*[17]の船首尾部各下層の計４か所の酸素濃度

船首部昇降口の上層及び下層の計２か所の酸素濃度

船尾部昇降口の下層１か所の酸素濃度（合計７か所）

②　３番貨物倉

両舷ハッチコーミングの船首尾部各下層の計４か所の酸素濃度

船首部昇降口の上層及び下層の計２か所の酸素濃度

船尾部昇降口の下層１か所の酸素濃度（合計７か所）

③　測定した酸素濃度：全て２０．９％（通常の空気中の酸素濃度と同じ数値）

④　測定年月日及び時刻：平成２１年６月１３日０８時３０分

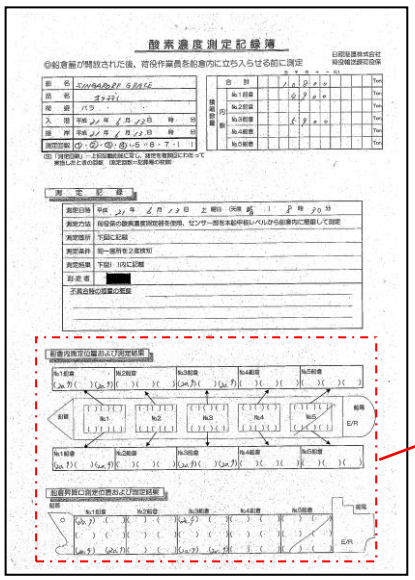
⑤　測定者（フォアマン）の署名

---

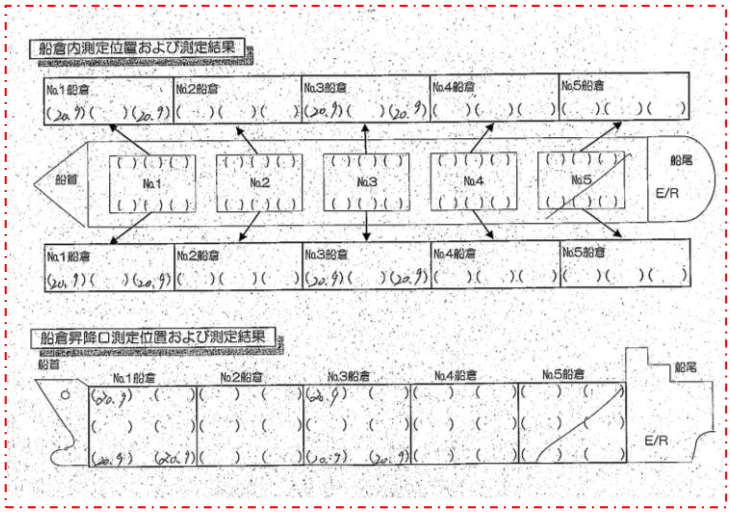
*[17]　「ハッチコーミング」とは、ハッチの周囲に垂直に立てて開口を囲って海水の流入を防ぐとともに、ハッチカバーの重量を支える鋼板をいい、また、「ハッチ」とは、貨物倉へ貨物を搬入又は搬出するための開口をいう。

なお、本件荷役会社は、船舶の大型化に伴う構造変化（斜め梯子、踊り場の採用等）に伴い、昇降口の酸素濃度の計測が困難となり、時期は明確でないが、昇降口に代わる別の箇所の酸素濃度を計測していたことを本事故後に把握した。

（次図等　『記録簿写』、『同記録簿抜粋』　参照）



『記録簿写』



『同記録簿抜粋』

(6)　一次事故に至る状況

操作員Ｄは、０８時０５分ごろフォアマンに呼ばれて乗船し、重機車両を入れても大丈夫と指示を受け、本船の２番クレーン（本船の船首側から２番目に位置するクレーンをいう。以下、船首側から順に「１番クレーン」～「４番クレーン」という。）の操縦席に乗り込み、岸壁側に振り出したブーム*18から下げたワイヤと重機車両がワイヤスリングに取り付けた金具（シャックル）でつながれる（玉掛けされる）のを待った。

運転手Ｂは、３番貨物倉、１番貨物倉の順にハッチカバーを開放し、重機車両をハッチカバーの開放順に合わせて搬入することを荷役事務所で打ち合わせていたことから、先に乗船して３番貨物倉付近の上甲板上で待機し、また、運転手Ｅは、３番貨物倉に重機車両が搬入されてから乗船することとして岸壁で待機した。

運転手Ｅは、打合せと異なり、１番貨物倉のハッチカバーが最初に開放され、２番クレーンで重機車両を吊って貨物倉に搬入できる状態となったので、本船に乗船して１番貨物倉に昇降口から入った。

---

*18　「ブーム」とは、クレーンなどの“腕木”又は“竿”　の部分をいい、ブームの先端に荷物などを吊り上げる装置があり、水平、垂直方向に荷物を移動する。

運転手Ｅは、０８時１０分～１５分ごろ、貨物の上に下ろされた重機車両の玉掛けを外して重機車両に乗り込み、船首側の貨物をショベルですくい上げて貨物倉の中央付近に寄せ集め始めた。

操作員Ｄは、０８時１５分～２０分ごろ、２番クレーンを降りて３番クレーンの操縦席に乗り込み、岸壁側に振り出したブームから下げたワイヤと重機車両がワイヤスリングに取り付けた金具（シャックル）でつながれる（玉掛けされる）のを待った。

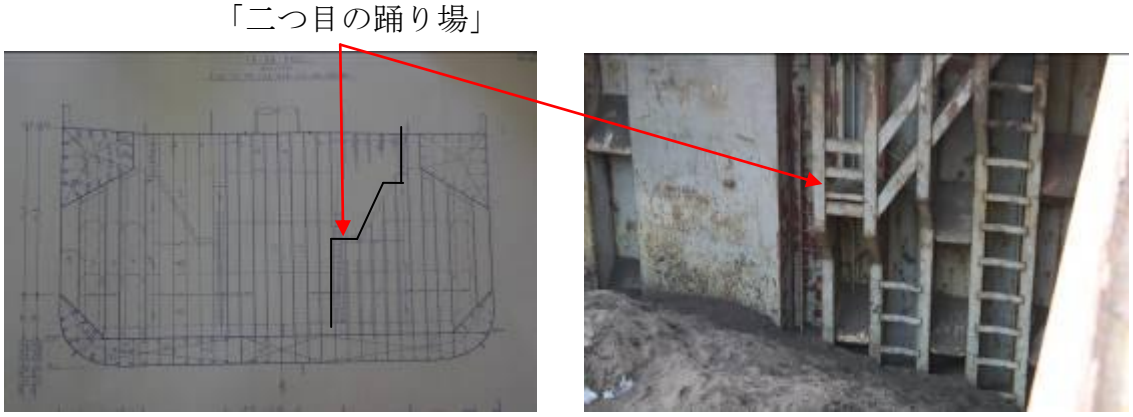
このとき岸壁に置かれた重機車両の周囲では、操作員Ｃ及び操作員Ｆを含む４人の作業員が玉掛け作業に当たっていた。

操作員Ｄは、３番貨物倉付近の上甲板で重機車両の搬入を待っていた運転手Ｂから無線機（トランシーバー）を介し、貨物のにおいが強いため、自分は貨物倉には入らないが、重機車両だけは貨物倉に入れておくようにとの指示を受けた。

操作員Ｄは、０８時２５分ごろ、指示に従って３番クレーンで吊り下げた重機車両を３番貨物倉に搬入していたとき、上甲板で待機しているはずの運転手Ｂが昇降口から貨物倉底部へ通じる斜め梯子を降りているのを目撃した。

運転手Ｂは、３番貨物倉の左舷後部上甲板に位置する昇降口（間口約０．８ｍ×約０．８ｍ）から入り、直梯子（長さ約２．５ｍ）、踊り場、斜め梯子（渡り長さ約４．７ｍ、垂直方向長さ約４ｍ）を経由し、二つ目の踊り場に渡りかけた０８時３０分ごろ、下肢から落下してしりもちをつくように同踊り場下方付近の貨物表層上に倒れて動かなくなった。

（次写真　『貨物倉断面図抜粋』、『３番貨物倉　後部隔壁付き　斜め梯子』参照）



『貨物倉断面図抜粋』　　『３番貨物倉　後部隔壁付き　斜め梯子』

操作員Ｄは、重機車両を貨物表層に下ろし、３番クレーンが作動しないよう、操作レバーをひもで固定して電源を切り、無線機で運転手Ｂが倒れたことを荷役事務所に報告したが応答はなかった。

操作員Ｄは、３番クレーンの操縦席の窓から操作員Ｃに運転手Ｂが倒れた旨を知らせ、同クレーンを降りて３番貨物倉の昇降口に向かって走った。

陸上クレーンの下方で待機していた操作員Ｃと操作員Ｆは、運転手Ｂが倒れた旨の知らせを受けて荷役事務所に向かった。

(7)　二次事故に至る状況

本件代理店の本船担当者（以下「代理店担当者」という。）は、０８時００分ごろ本船に乗船し、船長公室で入港手続きを行い、０８時３０分ごろ下船して荷役事務所のホワイトボードに本船の船名、国籍、入港時刻などを記入し終え、フォアマンと荷役終了時刻及び出港時刻について打ち合わせていたとき、荷役事務所に駆け込んできた操作員Ｃと操作員Ｆから、運転手Ｂが３番貨物倉で倒れた旨の報告を聞いた。

操作員Ｆは、荷役事務所に備えていた自蔵式空気呼吸器[*19]を持ち出し、急いで現場に向かうフォアマン及び操作員Ｃを追って荷役事務所を出て本船に向かい、また、代理店担当者もフォアマンを追った。

３番貨物倉の昇降口に着いた作業員３人は、自蔵式空気呼吸器を上甲板に置いたまま、フォアマン、操作員Ｃの順に昇降口から貨物倉内に入った。

操作員Ｆは、フォアマン及び操作員Ｃが自蔵式空気呼吸器を装着しないで貨物倉に入ったので、２人を止めるつもりで後を追い、斜め梯子を半分ほど降りたとき、息苦しく感じると同時に操作員Ｃから「戻れ」という合図を受けた。

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、梯子の途中で引き返して上甲板に戻った。

代理店担当者及び操作員Ｄは、３番貨物倉に着いたが、フォアマンが見当たらなかったので、その所在を傍らの作業員に尋ねたところ、倉内に倒れている２人のうち１人がフォアマンであることを知った。

操作員Ｄは、救急車及び救助隊を要請するために荷役事務所に向かう途中、出会った年長の作業員に運転手Ｂとフォアマンが貨物倉内で倒れたことを報告し、同作業員が本件製錬所警務室の警備員に対し、救急車等を要請したので本船に引き返した。

(8)　三次事故に至る状況

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、上甲板で息を整えていたところ、本船乗組員が

---

*19　「自蔵式空気呼吸器」(Self-contained Breathing Apparatus ;SCBA) とは、高圧空気を充填した容器の空気を減圧して着用者に供給する呼吸用保護具をいい、有害な雰囲気中の気体を吸入することを防ぐために用いる。面体、調整器（ホース、警報器、圧力指示計など)、ボンベ及び背負具（ハーネス）で構成される。2.13.2 参照。

防毒マスク*20を用意した。防毒マスクに装着した吸収缶には、「INORGANIC GASES & VAPOROUS」（無機ガス及び蒸気）と記載されていた。

（次写真　『防毒マスクと吸収缶』、『吸収缶』　参照）

『防毒マスクと吸収缶』

『吸収缶』

操作員Ｃは、防毒マスクを装着し、自蔵式空気呼吸器を担いで３番貨物倉の昇降口に向かおうとした。

一等航海士は、甲板事務室でサーベイヤーと喫水計算をしていたところ、三等航海士からの知らせで異常を知り、３番貨物倉の昇降口付近に向かった。

一等航海士は、防毒マスクを装着して３番貨物倉に入ろうとしている操作員Ｃ及び操作員Ｆに対し、呼吸具を装着すべきであり、また、防毒マスクだけ装着して貨物倉に入ることが危険である旨の進言をした。

操作員Ｃは、防毒マスクを装着し、自蔵式空気呼吸器を担いで昇降口から３番貨物倉に再び入った。

このとき、操作員Ｆは、一等航海士が話す英語を理解できなかったが、本船から渡されたマスクが防毒マスクより大きかったので、酸素が供給されるマスクだと思った。

操作員Ｆは、このマスクを装着すれば大丈夫と考え、操作員Ｃに続き本船の防毒マスクを装着して入り、斜め梯子を半分ほど降りたとき、息苦しくなり、上方から二つ目の踊り場に至った頃、脱力感に襲われて危険を感じたので、上甲板に引き返そうと力を振り絞って梯子をはい上がった。

操作員Ｆは、昇降口付近にたどり着いたところで本船乗組員に腕をつかまれ、上甲板に引き揚げられて救助された。

操作員Ｃは、上甲板に向かって直梯子を１～２段登ったところで倉内に落下した。

(9)　その後の事故を回避した状況

---

*20　「防毒マスク」とは、空気中の有毒ガスを除去するため、フィルター（吸収缶）を通すことにより無害化するガスマスクをいう。高濃度の有毒ガスによる汚染及び酸素欠乏状態における環境下では使用できない。吸収缶には、有機ガス、ハロゲン、青酸、硫化水素、アンモニア用などの種類がある。

船長は、居住区に近い上甲板で自蔵式空気呼吸器を取りに行こうとしていた三等航海士とすれ違い、３番貨物倉内で生じた事態を知り、担架及び非常脱出用呼吸具*21も準備するよう三等航海士に指示した。

また、三等航海士と代理店担当者は、昇降口から送風できるよう、３番貨物倉に送風機を準備することを乗組員に指示した。

船長は、３番貨物倉に向かい、３番貨物倉内で倒れた作業員の救出方法について一等航海士と話し合った。

三等航海士は、準備した自蔵式空気呼吸器を装着し始め、船長に対し、自蔵式空気呼吸器を装着した自身が救出に向かうことを申し出た。

船長は、貨物倉内が安全であるとは認められないと言い、三等航海士が貨物倉に入ることを許可しなかった。

また、船長は、本件荷役会社の作業員が貨物倉に入ろうとしていたのを見て代理店担当者に止めるよう頼んだ。

代理店担当者は、自身も貨物倉へ入ることが危険だと考えていたので、船長の意図を直ちに理解し、作業員が３番貨物倉に入るのを引き留めた。

(10) 事故発生後に計測した酸素濃度

操作員Ｄは、貨物倉内で操作員Ｃも倒れたことを知り、荷役事務所に戻ってその旨を上司に報告した。

操作員Ｄは、０８時４０分ごろ同上司から貨物倉内の酸素濃度を計測することを指示され、酸素濃度計を持って本船に向かった。

操作員Ｄは、酸素濃度計を扱うのが初めてだったので、本船に向かう途中で出会った年長の作業員に対し、センサーを貨物倉に入れるだけで計測できるよう酸素濃度計の設定を依頼した。

操作員Ｄは、０８時５０分ごろ、酸素濃度計のセンサーを３番貨物倉の船尾左舷寄りのハッチコーミングから入れ、同センサーを約４～５ｍ下ろした途端、検知酸素濃度が１８％まで低下したことを知らせる酸素濃度計の警報音が鳴り始め、センサーを下げるにつれて低下し、フォアマン、運転手Ｂ及び操作員Ｃが倒れている場所（二つ目の踊り場下方）付近の貨物表層から約１０cm 上方では、酸素濃度は約１．５～２％であった。

操作員Ｄは、上司に計測した酸素濃度を報告し、救助の邪魔にならぬよう重機車両を貨物倉から搬出するよう指示を受けて３番クレーンの操縦席に向かった。

---

*21 「非常脱出用呼吸具」(Emergency Escape Breathing Device ;EEBD) とは、圧縮酸素又は空気を供給する容器とフェイスピースの組み合わせによる呼吸具をいい、有害な気体を吸入することを防ぐために用いる。

なお、貨物倉断面図抜粋（2.1.2(6)参照）によれば、左舷ハッチコーミングの船尾部と二つ目の踊り場下方付近までの水平距離は、約５～６ｍであった。

(11) 救助

代理店担当者は、救急車と救助隊の手配を本件製錬所警務室の警備員に携帯電話で要請した。

操作員Ｄは、３番クレーンの操縦席に戻り、重機車両を３番貨物倉から吊り上げて岸壁に戻し、他の作業員が重機車両をクレーンから外すのを待った。その後、操作員Ｄは、到着した救助隊員の要請に応じて３番クレーンを操作し、自蔵式空気呼吸器を装着した救助隊員が乗った資機材運搬用のケージ（檻、縦約１．３ｍ、横約２ｍ、深さ約１．５ｍ）を３番貨物倉に吊り下ろした。

2.1.3 救助に関する情報

大分市東消防署署長から受領した回答書及び救助隊員の口述によれば、概略次のとおりであった。

(1) 貨物倉からの救助の状況

① 救助隊は、昇降口、要救助者数など現場の状況を最初に確認した。

② 救助隊は、要救助者３人が倒れた原因を特定することはできなかったが、要救助者が複数人であったことから、まずガス中毒を疑い、ガス測定器で酸素濃度、硫化水素濃度及び可燃性ガス濃度を測定した。

③ 貨物倉付近の上甲板の酸素濃度測定値は、１９．３％であった。

④ 救助隊は、上甲板の酸素濃度より貨物倉底部の方が低いことによる危険性を考え、圧縮空気の入ったボンベ数本を開放してロープで垂らし、要救助者が倒れている貨物倉底部に新鮮な空気を送る措置をとった。

⑤ 空気呼吸器を装着した救助隊員２人（空気ボンベ３本携行）が、本船の揚貨クレーンに取り付けた資機材運搬用のケージに乗り込み、これを吊り下ろして貨物倉に進入した。

⑥ 救助隊は、貨物倉に下ろしたケージに要救助者を収容した。

⑦ 救助隊員２人は、貨物が砂状で足場が悪く、２人の要救助者をケージに収容したところで隊員が背負う空気ボンベの容量が活動限界に達したので、ケージに乗って岸壁に戻り、別の隊員がケージに乗って残った１人を救助した。

(2) 検討された救助方法

次のことから、本船クレーン及びケージを用いた進入方法を選択した。

① 昇降口からの進入について

空気呼吸器を装着した救助隊員が、斜め梯子及び直梯子を経由して救出することは困難であると考えた。

② 三連梯子を用いた進入について

三連梯子を全伸してもその長さが約８ｍであり、要救助者が倒れている貨物倉底部付近に届かず、救出が不可能であった。

③ 救助ロープを用いた進入について

救助に要する時間及び救助隊員が二次事故に遭遇する危険を考慮すると適当ではなかった。

④ 本船クレーン及びケージを用いた進入について

要救助者が酸素欠乏の状況下にあると認識したため、短時間で救出する必要があった。ケージを用いれば、一度で複数の要救助者を救助することが可能であり、また、救助隊員が二次事故に遭遇する危険性も低いと判断した。

(3) 救助隊員が用いた装具について

救助隊員は、陽圧式（プレッシャーデマンド型）空気呼吸器[*22]（15MPa）を装着した。

使用可能時間ｈは、次式で表すことができる。

ｈ=ボンベ空気容量(8ℓ) ×{ボンベ圧力（15MPa）-3MPa}÷毎分消費量(ℓ/分)

3MPa は、設定した警報器打鈴圧力[*23]である。

空気の毎分消費量は、軽作業時が 40ℓ/分、中作業時が 60ℓ/分、重作業時が 80ℓ/分が目安である。救助隊員の活動は、常に重作業を前提としており、これから算出した使用可能時間は、１２分である。

（次写真 『救助状況』 参照）

『救助状況』

[*22] 「陽圧式（プレッシャーデマンド型）空気呼吸器」とは、低酸素空気や有毒ガスの面体内への侵入を防ぐことができるよう、面体（マスク）内に常に外気圧より高い空気を供給する仕様の呼吸器をいう。

[*23] 「警報器打鈴圧力」とは、空気の残量が少なくなったことを装着者に知らせるための警報器を鳴らす設定圧力をいう。

2.1.4　通報及び救急措置に関する情報

大分東消防署署長から受領した回答書及び救助隊員の口述によれば、概略次のとおりであった

(1)　通報時刻に関する情報

警務員から１１９番通報を受報した時刻は、０８時５０分３４秒であり、終話時刻は、０８時５３分５９秒であった。

(2)　救急車の出動及び現場到着時刻は、次のとおりであった。

①　大在（おおざい）救急小隊　出動時刻０８時５２分、現場到着時刻０９時０７分

②　東本署救助隊　出動時刻０８時５４分、現場到着時刻０９時２０分

③　佐賀関救急小隊　出動時刻０９時０８分、現場到着時刻０９時２３分

(3)　罹災者の救急車内収容及び医療機関への搬送時刻は、次のとおりであった。

罹災者は、大分市内３か所の医療機関へそれぞれ搬送された。

①　運転手Ｂ　車内収容時刻０９時３９分、搬送時刻０９時４６分

②　フォアマン　車内収容時刻０９時４４分、搬送時刻１０時０６分

③　操作員Ｃ　車内収容時刻０９時４９分、搬送時刻１０時０５分

(4)　救急車内での救助者の状況及び措置については、次のとおりであった。

①　運転手Ｂ

時刻 / 状況　措置	０９：３９	０９：４２	０９：４６
ＪＣＳ[*24]／ＧＣＳ[*25]	300／3	300／3	300／3
呼吸／脈拍	０／０	０／０	０／０
瞳孔	左右散大[*26]	左右５㎜（-）	左右５㎜（-）
酸素吸入　ℓ／分	１０	１０	１０
心肺マッサージ	実施	実施	実施

*24　「ＪＣＳ」（ジャパン コーマ スケール）とは、日本で主に用いられる意識障害の深度分類をいう。ＪＣＳ300は、痛み刺激に対して全く反応しない状態を示す。

*25　「ＧＣＳ」（グラスゴー コーマ スケール）とは、世界的に広く用いられる意識障害の評価分類をいう。正常は１５点満点で、深昏睡は３点で示される。

*26　「(瞳孔の）左右散大」とは、通常２．５～４㎜ で左右同大の瞳孔径が５㎜ 以上に開いている状態をいう。

② フォアマン

時刻 状況　措置	09:44	09:46	09:50	10:06
ＪＣＳ／ＧＣＳ	300／3	300／3	300／3	300／3
呼吸／脈拍	０／０	０／０	０／０	０／０
心電図	―	心静止	心静止	心静止
瞳孔	左右散大	左右散大	―	―
酸素吸入　ℓ／分	１０	１０	１０	１０
血中酸素濃度	―	―	７４％	９７％
心肺マッサージ	実施	実施	実施	実施
経鼻エアウエィ*27	―	―	７㎜	７㎜

③ 操作員Ｃ

時刻 状況　措置	09:49	09:51	10:00	10:05
ＪＣＳ／ＧＣＳ	300／3	300／3	300／3	300／3
呼吸／脈拍	０／０	０／０	０／０	０／０
心電図	―	心静止	心静止	心静止
瞳孔	―	左右５㎜（-）	―	―
酸素吸入　ℓ／分	１０	１０	人工呼吸	人工呼吸
心肺マッサージ	実施	実施	実施	実施
ＬＴ*28	―	―	４号	４号
静脈路確保*29	―	―	―	２０Ｇ
アドレナリン投与	―	―	―	計３回

一次事故の発生日時は、平成２１年６月１３日０８時３０分ごろで、発生場所は、佐賀関港の専用岸壁に係船中の本船の３番貨物倉内であった。

また、二次事故及び三次事故の発生日時は、同日０８時３０分ごろ～４０分ごろの間で、発生場所は一次事故と同じであった。

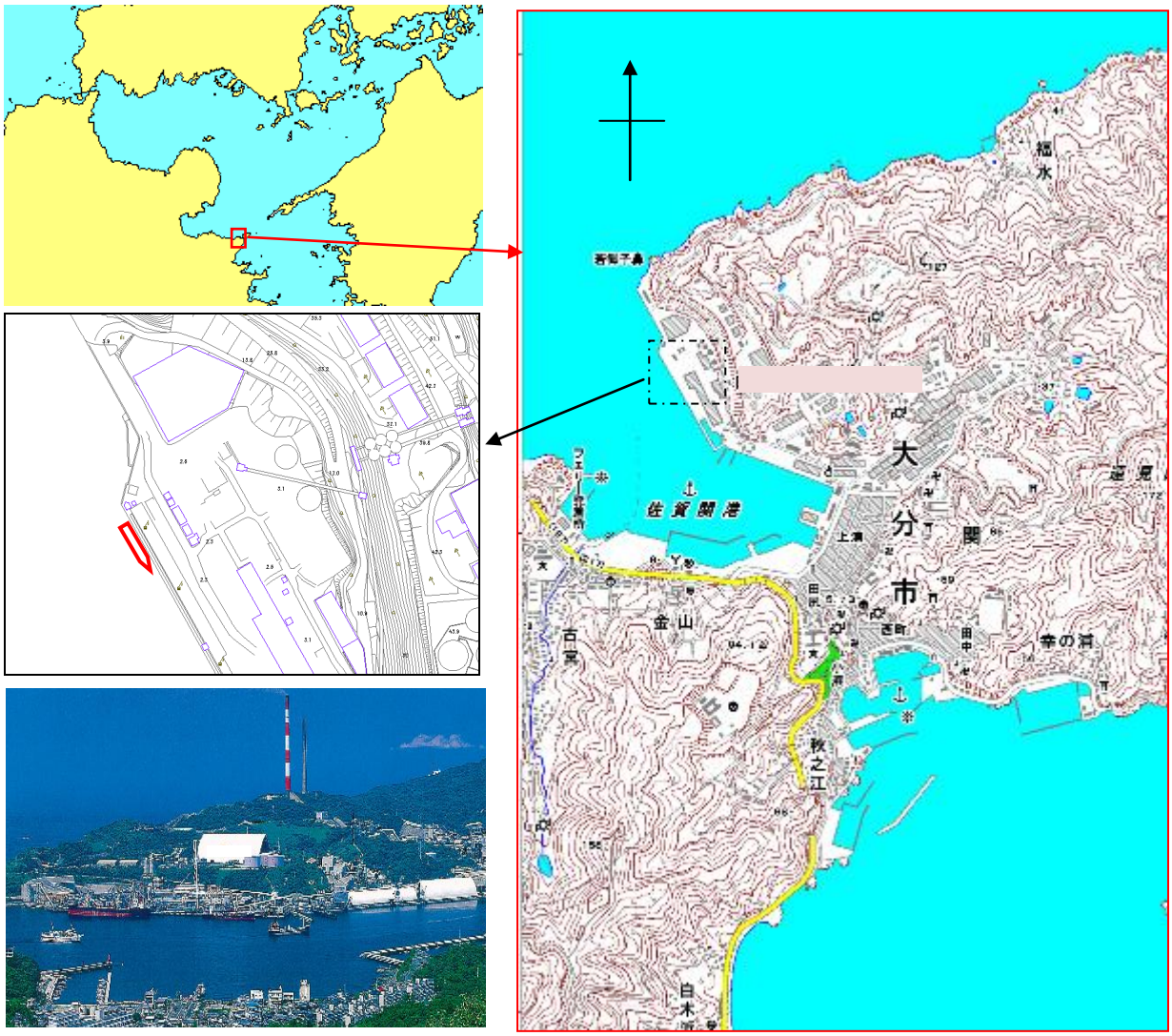
（次図及び写真　『瀬戸内海地図抜粋図』、『大分県佐賀関の地形図抜粋』、『本船係船位置概略図』、『本件製錬所パンフレット抜粋写真』　参照）

---

*27 「経鼻エアウエィ」とは、鼻から挿入して気道を確保するために用いる器具をいう。

*28 「ＬＴ」とは、ラリンゲルチューブのことであり、人工呼吸が必要な傷病者の気道を確保するために用いる器具をいう。食道に空気が入ることを防いで気道に空気を送り込むために用いる。

*29 「静脈路確保」とは、静脈内に針やチューブを留置して輸液路を確保する処置をいう。



左上『瀬戸内海地図抜粋図』　　右『大分県佐賀関の地形図抜粋』
左中『本船係船位置概略図』
左下『本件製錬所パンフレット抜粋写真』

２．２　人の死亡に関する情報

2.2.1　医療機関における状況

医療機関からの回答書によれば、搬送された医療機関での救助者の状況については、次のとおりであった。

(1)　運転手Ｂ

搬送後から各種の蘇生措置を続けたが、６月１３日１０時３０分に死亡を確認した。

(2)　フォアマン

搬送後から各種の蘇生措置を続けたが、６月１３日１０時５９分に死亡を確認した。

(3)　操作員Ｃ

搬送後から各種の蘇生措置を続けたが、６月１３日１１時１０分に死亡を確認した。

2.2.2　死亡原因に関する情報

(1)　死体検案書に記載された作業員の死亡の原因は、次のとおりであった。

①　運転手Ｂ　*急性窒息（疑い）*

②　フォアマン　*酸欠による窒息*

③　操作員Ｃ　*無酸素脳症*

(2)　血液ガス分析[*30]値

搬送された医療機関及び運転手Ｂの司法解剖を担当した医学部教授からの回答書によれば、次のとおりであった。

	二酸化炭素（mmHg）	酸　　素　（mmHg）
通常範囲	３５．０～４５．０	７５．０～１００．０
運転手Ｂ	６０．１	７２．６
フォアマン	１３７．６	５１．１
操作員Ｃ	１７１．４	１８．５

(3)　運転手Ｂが搬送された医療機関の医師の口述によれば、概ね次のとおりであった。

①　運転手Ｂの死因を酸素欠乏症[*31]と特定できる所見も他のガス（一酸化炭素、硫化水素など）によるものと特定できる所見もない。

心肺停止状態で搬送された場合、既に無呼吸の状態であるから、酸素欠乏症と同様な検査結果を呈するからである。

②　運転手Ｂは、死亡に至るまでの時間の特定は困難だが、数分間で死亡に至ったという印象を持つ。その理由は、低酸素下でも心肺が機能している時間がある程度あれば、血液循環が続き、死後脳浮腫が考えられることがあるのだが、ＣＴスキャンによる検査の結果、脳浮腫が認められなかったからである。

(4)　運転手Ｂの司法解剖を担当した医学部教授の口述によれば、次のとおりで

---

*30　「血液ガス分析」とは、血液中に含まれる酸素濃度や二酸化炭素の量などを測定する検査をいい、動脈血を採取して酸素と二酸化炭素の量を調べることにより、肺が正常に機能しているかどうかが分かる。

*31　「酸素欠乏症」とは、酸素欠乏の空気を吸入することにより生じる症状をいい、酸素欠乏症等規則に定められている。また、同規則では、空気中の酸素濃度が十八パーセント未満である状態を「酸素欠乏」と定めている。

なお、酸素欠乏症等規則に定める「酸素欠乏症等」とは、酸素欠乏症又は硫化水素中毒をいう。

あった。

① 運転手Ｂだけを司法解剖した理由は、運転手Ｂのみ酸素欠乏症らしくない血液ガス分析の結果が見られたからである。

② 酸素欠乏症で死亡したとしても、特徴的な死体現象はなく、当時の状況から、酸素欠乏症であったことを推定することしかできない。

③ 現場の酸素濃度が低かったというデータがあれば、運転手Ｂ以外の他の２人が、酸素欠乏症が原因で死亡したと認められたのと同様、血液ガス分析の結果が異なる運転手Ｂも酸素欠乏症が原因で死亡したと認めることが可能である。

④ 運転手Ｂの血液ガス分析の値が他の作業員と異なっている原因は、救急措置の結果、酸素量が上昇したことなどの可能性が考えられる。

⑤ 運転手Ｂの死因を窒息としたが、酸素欠乏症も窒息に含まれる。

⑥ 硫化水素による中毒で死亡した場合、死斑[*32]の色が酸素欠乏症とは異なり、血液中に硫化ヘモグロビンが生じて濃い紫色になるが、運転手Ｂのそれは、窒息のときと同じ、赤茶っぽい色であったことから、死亡原因が硫化水素によるものであることを否定できる。

⑦ 一酸化炭素中毒で死亡した場合は、血液が朱色に変化し、肌を透かして見る死斑がピンク色になるので、死亡原因が一酸化炭素中毒であることも否定できる。

２．３　主たる作業員に関する情報

本件荷役会社の社員原簿によれば、次のとおりであった。

(1) 性別、年齢、主な資格及び受講した講習

① 運転手Ｂ　男性　６３歳

移動式クレーン運転士、積卸し作業指揮者安全教育、酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種）[*33]

② フォアマン　男性　４８歳

玉掛技能講習、クレーン運転士、酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種)、揚貨装置運転士、船内荷役作業主任者技能講習、職長教育、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者技能講習

---

*32 「死斑」とは、死体の下面に生じる紫赤色の斑点をいう。重力により血液が沈下して毛細血管に滞留するために生じる。

*33 「酸素欠乏等危険作業特別教育（第 2 種)」とは、事業者が酸素欠乏等の危険作業に該当する業務に作業員を就労させる場合に行う以下の科目の特別教育をいい、酸素欠乏症等防止規則（昭和４７年労働省令 42 号）に定められている。「酸素欠乏等発生の原因」「酸素欠乏症等の症状」「空気呼吸器等の使用方法」「事故の場合の退避及び救急そ生の方法」「酸素欠乏症等の防止に関し必要な事項」

③　操作員C　男性　５２歳

玉掛技能講習、クレーン運転士、酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種）

④　操作員D　男性　２７歳

酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種）、クレーン・デリック運転士、積卸し作業指揮者安全教育、揚貨装置運転士

⑤　操作員F　男性　２８歳

玉掛技能講習、クレーン運転士、酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種）、揚貨装置運転士

(2)　主な社内履歴等

①　運転手B

昭和５７年１月２１日に本件荷役会社へ入社して荷役業務に携わり、平成１８年２月２８日に定年退職し、同年３月１日に期間雇用員として再雇用されていた。勤続年数は約２７年であった。

②　フォアマン

昭和５５年４月１日に本件荷役会社へ入社し、同年７月１日から荷役業務に携わり、平成１７年４月１日に荷役係長へ昇進した。

社内で催す特定粉じん作業特別教育の講師も務めていた。

平成１５年１２月に本件荷役会社から年間功労者表彰を受彰した。

勤続年数は約２９年であった。

③　操作員C

平成１８年４月１日に本件荷役会社へ入社し、荷役業務に携わっていた。

勤続年数は約３年であった。

④　操作員D

平成１８年１月１日に本件荷役会社へ入社し、荷役業務に携わっていた。

勤続年数は、約３年であった。

⑤　操作員F

平成１８年２月１日に本件荷役会社へ入社し、荷役業務に携わっていた。

勤続年数は、約３年であった。

２．４　乗組員に関する情報

(1)　性別、年齢、海技免状等

①　船長　男性　５１歳　国籍　オーストラリア連邦

締約国資格受有者承認証　甲板高級船員一級　（中華人民共和国香港特別行政区（以下「香港」という。）発給）

交付年月日　２００５年１１月１日
（２０１０年3月３０日まで有効）

② 一等航海士　男性　４１歳　国籍　ロシア連邦
締約国資格受有者承認証　甲板高級船員二級　（香港発給）
交付年月日　２００９年1月５日
（２００９年8月１９日まで有効）

③ 三等航海士　男性　２９歳　国籍　インド
締約国資格受有者承認証　甲板高級船員三級　（香港発給）
交付年月日　２００９年2月４日
（２０１３年9月８日まで有効）

(2) 主な乗船履歴等

① 船長

船長の口述によれば、次のとおりであった。

１９７７年に見習甲板員として乗船し、１９９８年に船長へ昇進した。

本船には２００８年１１月２６日か２７日に乗船した。

② 一等航海士

一等航海士の口述によれば、次のとおりであった。

１９８３年～１９８９年の間、ファーイーストマリンスクールで船員教育を受けたのち、四等航海士として乗船し、２００５年に一等航海士へ昇進した。

本船には、２００８年１２月１１日に乗船した。

③ 三等航海士

三等航海士の口述によれば、次のとおりであった。

修学と基礎トレーニングを経て甲板員として乗船し、２００８年英国（グレートブリテン及び北アイルランド連合王国）で当直士官の試験に合格して三等航海士へ昇進した。

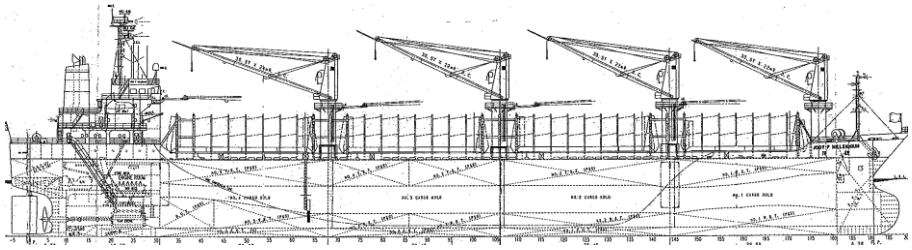
本船には、２００９年1月７日に乗船した。

２.５　船舶等に関する情報

2.5.1　船舶の主要目

ＩＭＯ番号	９２２４０９９
船　籍　港	香港
船舶所有者	SINGAPORE GRACE SHIPPING LIMITED（香港）
船舶管理会社	FLEET MANAGEMENT LIMITED（香港）
船　　級	日本海事協会（Class NK）

総 ト ン 数　　１５,０７１トン
Ｌ ×Ｂ ×Ｄ　　１５９.９４m×２６.００m×１３.５０m
船　　質　　鋼
機　　関　　ディーゼル機関１基
出　　力　　６,１５６kW（連続最大）
推 進 器　　固定ピッチプロペラ
進 水 年 月　　１９９９年１２月
（次図及び写真　『一般配置図抜粋』、『本船写真』　参照）



『一般配置図抜粋』

『本船写真』

2.5.2　船舶に関するその他の情報

貨物の積載に係る本船の要目は、次のとおりであった。

船　　種　ばら積み貨物兼木材運搬船（BULK/LUMBER CARRIER）
貨物倉等の数　４ハッチ（Hatch）４貨物倉（Hold）
ハッチ間口　１ 番 貨 物 倉　１８.４m×１６.０m
　　２～４番貨物倉　２２.４m×１７.６m
貨物倉深さ等　二重底内底板*34～上甲板上面　約１２.０m

*34　「二重底内底板」とは、二重底構造の頂部を構成する板をいう。インナーボットムプレーティング、タンクトップとも称する。船底タンクの頂部及び貨物倉の底部を兼ねる。

上甲板上面～ハッチコーミング上端　約１．３５ｍ
上甲板上面～二つ目の踊り場　約６ｍ

貨物倉容積　１番貨物倉６，８４５．７６㎥　２番貨物倉８，８８６．６９㎥
３番貨物倉８，９１０．４２㎥　４番貨物倉８，０５３．０１㎥

閉鎖金具　ハッチカバーの閉鎖金具としてキングボルト*35を両舷に各４個、船首尾側に各２個装備している。

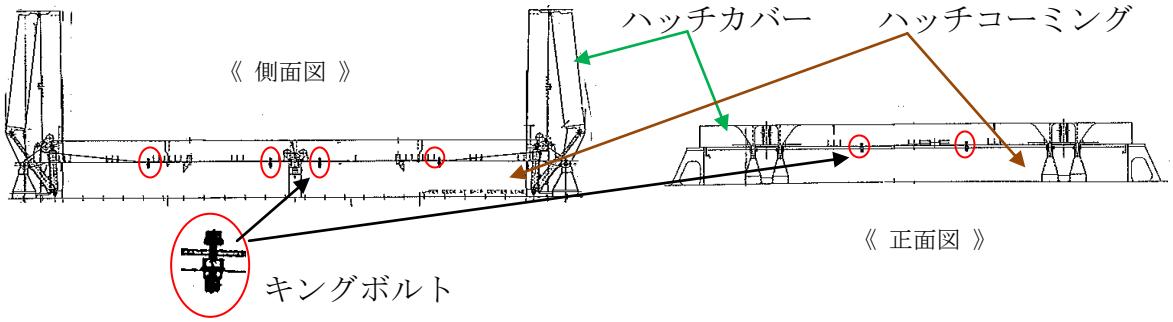
ハッチカバーには、ラバーパッキンを取り付け、キングボルトを締め付けてハッチコーミングとハッチカバーを密着させ、貨物倉の水密を保つ構造である。

なお、佐賀関港入港時のキングボルトの緩み具合は、明らかにできなかった。

船舶管理会社の回答書によれば、次のとおりであった。

２００９年５月２４日ポートモレスビー港で積荷役前に放水テストを受検した際、貨物倉への漏水はなかった。

（次図　『キングボルト、ハッチカバー及びハッチコーミング抜粋図』　参照）



『キングボルト、ハッチカバー及びハッチコーミング抜粋図』

2.5.3　貨物及び貨物の積載状態

銅精鉱のＭＳＤＳ、船荷証券*36（Bill of Lading）、積付図（Stowage Plan）、積付計算書及び船長からの回答書並びに一等航海士の口述によれば、次のとおりであった。

(1)　貨物名

①　船荷証券に記載された貨物名は、COPPER CONCENTRATE IN BULK（銅精鉱）であった。

*35　「キングボルト」とは、ハッチカバーとハッチコーミングが密着するよう固定するためのボルト及びナットの総称をいう。

*36　「船荷証券」（Bill of Lading）とは、貨物の船積又は船積みのための貨物であることを証明するとともに、指定の陸揚げ港においてこれと引換えに船積貨物を引き渡すことを約する有価証券をいう。

② ＭＳＤＳに記載された貨物名は、COPPER SULPHIDE CONCENTRATE（硫化銅精鉱）であった。

(2) 受け荷主

船荷証券の受け荷主を記載する欄には、「*To Order*（指図により）」と、受け荷主のアドレスを記載する欄には、本件製錬所の親会社の社名及び所在地がそれぞれ記載されていた。

(3) 積載重量

１番貨物倉	４，９００mt	２番貨物倉	５，６００mt
３番貨物倉	５，９００mt	４番貨物倉	５，２００mt
総　　計	２１，６００mt		

(4) 積載容積及び積載容積率*37

１番貨物倉	約２，０４８㎥	積載容積率	約３０％
２番貨物倉	約２，３４１㎥	積載容積率	約２６％
３番貨物倉	約２，４６６㎥	積載容積率	約２８％
４番貨物倉	約２，１７４㎥	積載容積率	約２７％

銅精鉱の積付係数*38は、１５ft^3/LTが用いられた。

(5) 喫水及びトリム*39

① ポートモレスビー港出港

船首喫水　８．５６ｍ、船尾喫水　９．６５ｍ、トリム　１．０９mB/S

② 佐賀関港入港

船首喫水　８．９３ｍ、船尾喫水　９．３４ｍ、トリム　０．４１mB/S

(6) 航海中のハッチカバーの開閉

ポートモレスビー港出港後から佐賀関港入港までの間、ハッチカバーを開放していないし、換気も行っていない。佐賀関港の専用岸壁着岸後、一等航海士の指示により、ポートモレスビー港での積荷終了後初めて１番及び３番貨物倉のハッチカバーを開放した。

(7) 貨物倉下方二重底の状況

１番貨物倉下方には、バラストタンク（No.１ W.B.T.）が、また、３番貨物倉下方には、燃料油タンク（No.２ F.O.T.）が区画されていた。

---

*37 「積載容積率」とは、貨物倉の全容積中、貨物が占める容積の割合をいう。

*38 「積付係数」（Stowage Factor、S/F）とは、原則として貨物１ロングトン（long ton、LT、 L/T、英トン、１L/T=1016.0469008kg、ヤード・ポンド法に基づく質量の単位）を積載するのに要する貨物倉内容積を ft^3で表示した数値をいう。S/F が小ならば貨物が重く、大ならば貨物が軽いことを意味する。

*39 「トリム」とは、船首喫水と船尾喫水の差をいい、船尾の喫水が船首のそれより大なる状態をトリム バイ ザ スターン（B/S）、逆の場合をトリム バイ ザ ヘッド（B/H）という。

ポートモレスビー港出港後から佐賀関港入港までの間、No.1 W.B.T.は空であり、No.2 F.O.T.の積載状況等は、次のとおりであった。なお、海水温度及び気温は、いずれも正午の値である。

① No.2 F.O.T.の積載状況

No.2 F.O.T	左舷タンク積載量m³（容積%）	右舷タンク積載量m³（容積%）	海水温度℃	気温℃
６月１日	４１．８１４ (14%)	４１．５０９ (14%)	２９	３０
６月２日	３０．８０７ (10%)	３１．３６９ (11%)	３０	２８
６月３日	２０．６６０ (7%)	２０．４６１ (7%)	３０	２９
６月４日	９．５６７ (3%)	９．４６４ (3%)	３１	２７
６月５日	０．０	１．８６ (0.1%)	３２	２８
６月６日	０．０	１．８６ (0.1%)	３２	２８
６月７日	０．０	１．８６ (0.1%)	３１	２６
６月８日	０．０	１．８６ (0.1%)	３１	２９
６月９日	０．０	１．８６ (0.1%)	３１	３０
６月１０日	０．０	１．８６ (0.1%)	３０	３０
６月１１日	０．０	１．８６ (0.1%)	２７	２６
６月１２日	０．０	１．８６ (0.1%)	２５	２７
６月１３日	０．０	１．８６ (0.1%)	２１	２６

② 補油に関する情報

補油年月日	補油地	補油温度	補油タンク
２００９年５月１５日	中華人民共和国	記録なし	No.1 FOT P&S
２００９年３月２７日	南アフリカ共和国	２０℃	No.2 FOT P&S
２００９年２月１５日	南アフリカ共和国	２０℃	No.3 FOT C

③ 燃料油タンクの温度監視機器はない。事故当時の燃料油温度は、海水温度とほぼ同じ約２３℃と認識される。

２．６ 貨物等に関する情報

2.6.1 本船が積載した貨物に関する情報

銅精鉱のＭＳＤＳなどによれば、次のとおりであった。

(1) 本船が積載した貨物は、パプアニューギニア独立国で掘り出された銅鉱石から浮遊選鉱(2.6.5 参照)を経て生産された銅精鉱であった。

(2) 銅精鉱の成分

① 化学式 $CuFeS_2$

② 本件製錬所が解析で得た銅精鉱の組成割合（%）は、次のとおりであった。なお、１%未満の成分は記載を省略した。

鉄 26.6、銅 27.7、硫黄 29.8、ケイ素 5.96、マグネシウム 1.9、亜鉛 1.32

(3) ＭＳＤＳ等の記載の内容

本船は、ポートモレスビー港で、本件荷送人から銅精鉱のＭＳＤＳを受領した。

ＭＳＤＳには、品名、組成、成分情報、取扱い上の注意、防護措置、目に入った場合などの応急措置のほか、危険有害性として大気中で緩やかに酸化すること、水濡れによって緩やかに発熱すること、並びに発火時に“二酸化硫黄（SO_2）ガス及び三酸化硫黄（SO_3）ガス”（以下「硫黄ガス」という。）を発生させることが記されていた。なお、浮遊選鉱剤に関する情報はなかった。

また、本件荷送人は、『NOTICE OF ENTRY INTO CARGO HOLD（貨物倉進入に関する注意)』と題した書面を船長に提出した。

当該書面には、「十分な換気がなされない限り、何人も銅精鉱積載中の貨物倉に進入することは許されないことを助言する。」旨記載されていた。

2.6.2 ＢＣコードの記載について

ＢＣコード（１９９８年版）に記載する品目中、銅精鉱が該当するのは、「付録Ａ 液状化するばら積み物質」中の「銅精鉱」及び「付録Ａ 化学的危険性を有するばら積み物質リスト」中の「硫化金属精鉱」である。同コードによれば、次のとおりであった。

硫化金属精鉱：*METAL SULPHIDE CONCENTRATES*

(1) 性状 *Properties*

・*固体。銅、鉄、鉛、ニッケル、亜鉛又は他の金属を含有する鉱石から成る。硫化精鉱を微粉状に粉砕したもの。*

・*硫化精鉱のあるものは酸化しやすく、それに伴う酸欠及び毒性の煙霧を放出し、自然発熱する傾向を有している。あるものは腐しょく危険を示す。*

(2) 注意事項 *Observations*

・*船積みに先立って、荷送人又は主管庁は積載予定本貨の運送実績に基づき、特定の危険及びその予防措置に関する詳細な情報資料を準備すること。*

(3) 特別要件 *Special requirements*

・*船積み及び陸揚げ作業において、粉塵への曝露を避けるため厳重に監督*

すること。

・荷送人又は主管庁の指示に従って、下記予防措置をとること：

1　酸素は酸化及び自然発熱作用を助長させるので、本貨への通風換気は避けること。填圧[*40]*又はプラスチックシートで適切に覆うことにより、空気の流入を制限し、酸化作用を抑制することができる。*

2.6.3　国際海上固体ばら積み貨物規則の記載について

国際海上固体ばら積み貨物規則[*41]（以下「ＩＭＳＢＣコード」という。）に記載する品目中、銅精鉱が該当するのは、「金属硫化精鉱」及び「鉱物精鉱」である。

同コードによれば、次のとおりであった。

(1)　貨物の説明 *Description*

①　金属硫化精鉱：*METAL SULPHIDE CONCENTRATES*

金属硫化精鉱は、無用な鉱物（脈石）を除去し、有用鉱物を濃縮したもの。製造してから時間が経った精鉱は時々塊を含むことがあるが、一般に粒径は小さい。この分類の最も一般的精鉱は、亜鉛精鉱、鉛精鉱、銅精鉱及び低品位の片刃[*42]*である。*

②　鉱物精鉱：*Mineral Concentrates*

金属硫化精鉱は、大量の不要物質を取り除くことにより、有用成分を増やすよう精錬された鉱石である。

(2)　危険性

①　金属硫化精鉱：*METAL SULPHIDE CONCENTRATES*

危険性

幾つかの硫化銅精鉱は酸化し、酸素欠乏及び毒性ガスの発生を伴う自然発熱性を有するおそれがある。腐食の問題を呈するおそれがあるものもある。（以下略）

---

*40　「填圧」（転圧）とは、土などをローラーなどで押し固めることをいう。

*41　「国際海上固体ばら積み貨物規則」（THE INTERNATIONAL MARITIME SOLID BULK CARGOES CODE；IMSBC CODE）とは、国際海事機関（International Maritime Organization：ＩＭＯ）の海上安全委員会が決議した規則で、勧告であったＢＣコードがＩＭＳＢＣコードとして強制化されたほか、特定の固体ばら積み貨物の輸送に伴う詳細な情報を船長に提供することを荷送人に義務付け、当該コードに掲載されていない貨物の取扱い（荷積国の承認、荷揚国と船舶旗国間の協議など）及び固体ばら積み貨物を輸送しようとする際にとるべき手順等を規定し、固体ばら積み貨物の積載と輸送の安全を推進することを目的とした規則をいう。当該規則は、2011年1月1日から適用されることとなった。

*42　「片刃」（かたは）とは、目的とする鉱物と他の鉱物とで一粒子を構成している鉱石をいい、選鉱を経て目的の鉱物を取り出す。

② 鉱物精鉱：*Mineral Concentrates*

危険性

上記の物質は運送許容水分値を超える水分値で積載した場合、液状化するおそれがある。（以下略）

(3) 金属硫化精鉱（含む銅精鉱）の注意事項等

① 注意事項

船倉が通風され、空気中の酸素濃度が試験されるまで、この貨物の船倉への立ち入りを許可しないこと。（以下略）

② 通風要件

通風要件

この貨物を積載した船倉は航海中通風しないこと。

(4) ＩＭＳＢＣコード第７節　７．３．１．３　液状化貨物規定

当該貨物（精鉱その他の液状貨物）*を積載している船倉への液体の浸入を防止するため、海上運送中十分な注意をしなければならない。*

2.6.4 本船が積載した貨物の臭気等に関する情報

(1) 荷役関係者の情報

2.1.2(6)、本件製錬所の担当者、本件荷役会社の担当者及び各作業員の口述によれば、次のとおりであった。

① 銅精鉱でもにおいが強いものがある。甲板上でもにおいを感じた。これまでも、本船が積載した銅精鉱の揚荷に携わったことがあるが、同様なにおいがした。本船に積載している貨物もにおいが強い銅精鉱だった。顔を昇降口に近づけられなかった。

② ３番貨物倉内のにおいは、１回目に入ったときも、２回目に入ったときも、いずれも独特のものであり、きつかった。

③ １番貨物倉のハッチカバーを開放したとき、クレーンの操縦席にいたが、そこでさえ貨物のにおいをきつく感じた。あんなにくさいのは初めてだった。本船が積載した種類の貨物は、以前きついにおいがしていた。

これまで、生暖かい、くさい気体が貨物倉から出たのを幾度か感じたことがある。

④ １番貨物倉もくさかったが、この鉱石のにおいはこんなものだと思った。

(2) 現場調査時の４番貨物倉の情報

船舶事故調査官が、平成２１年６月１４日１２時ごろ、本件製錬所担当者及び本件荷役会社担当者立会いの下、本船の４番貨物倉を積荷後初めて開放した際に現場調査を行った状況は、以下のとおりであった。

① 臭気ガス

ハッチカバー開放と同時に貨物倉から生暖かい薬品臭を伴った臭気ガスが上甲板にあふれ出た。

② 計測した酸素濃度

ハッチカバー開放と同時に酸素濃度が、１８％未満であることを示す警報音を携帯型の酸素濃度計が発した。計測した貨物倉内の酸素濃度は、次表のとおりであった。

開放後の経過時間（分）	酸素濃度（%）	
	船尾昇降口から5m下方	ほぼ貨物表層上
0	５．１	４．８
０．５	８．７	４．９
1	９．０	４．９
2	１４．５	８．２
3	１７．２	８．２
4	１９．０	１８．０
5	１８．７	１７．７
6	２０．９	１９．１
7	２０．９	１９．９
8	２０．９	２０．０
9	２０．９	２０．１

2.6.5 浮遊選鉱等に関する情報

浮遊選鉱剤のＭＳＤＳ及び本件荷送人の回答書並びに本件製錬所担当者の口述によれば、次のとおりであった。

(1) 浮遊選鉱に関する説明等

浮遊選鉱は、銅の含有率が低い銅鉱石を選鉱して銅精鉱を得る方法の一つであり、銅鉱石の粗鉱を粉状にして水に懸濁[*43]させ、これに油や薬剤（浮遊選鉱剤）を加えてかくはんし、発生させた泡の表面に付着した銅精鉱を集める方法である。

(2) 浮遊選鉱に用いた薬剤に関する情報

本件荷送人は、バハマ国のＨ社が製造した浮遊選鉱剤２種類（以下「W剤」及び「X剤」という。）を用いた。

[*43] 「懸濁」とは、液体中に固体の微粒子が分散した状態をいう。

粗鋼１ｔ当たりの浮遊選鉱剤の使用量は、W剤が１７．０g/t、Ｘ剤が１６．５g/t であった。

(3)　浮遊選鉱剤W剤及びX剤に関する情報

W剤及びX剤のＭＳＤＳには、概略次のことが記載されていた。

①　W剤（Frother:気泡剤）

a　主　　成　　分　酸素化合物/炭化水素 60～85%、
2 エチル 1 ヘキサノール 5～10%

b　臭　　気　アルコールとアルデヒドの混合臭

c　水素イオン指数　＞5.14（pH)、酸性

d　気化ガス比重　＞１（空気＝１）

e　取扱い上の注意等

(a)　４９℃以上に加熱しないこと。

(b)　製品を閉鎖区画（closed system）で用いず、適切な閉所で用いる場合は、排気すること。

(c)　吸い込んだ場合は新鮮な空気で排気すること、呼吸していない場合は人工呼吸を施して速やかに医療措置を行うこと。

②　X剤（Collector:捕集剤）

a　主　　成　　分　ナトリウム２イソブチル２チオリン酸塩
31.5～36%

b　臭　　気　弱い硫黄臭

c　水素イオン指数　＞12（pH)、アルカリ性

d　気化ガス比重　不明

e　取扱い上の注意等　特になし

2.6.6　銅精鉱の酸化及び還元に関する情報

本件製錬所の会社紹介パンフレットによれば、銅精鉱の製錬は、銅精鉱の酸化特性を利用しており、その内容は、概略次のとおりであった。

(1)　銅精鉱は、乾燥後、常温高酸素空気とともに精鉱バーナを通して自溶炉に吹き込まれる。銅精鉱は、バーナを出ると瞬時に酸化反応を始め、鉱石自身の酸化熱により、銅品位６８％の鈹(かわ)[*44]と酸化鉄及び珪酸からなる鏬(からみ)[*45]に溶解及び分離される。

[*44]　「鈹（かわ、マット)」とは、銅などの溶鉱炉において、炉の下層に沈殿する有価物をいい、鉱石と金属の中間物とも言える。

[*45]　「鏬（からみ、スラグ)」とは、鉱石は溶錬する際、沈殿する有価物及び表面に浮くカスとに分離され、このカスをいう。

(2)　溶炉で生成した鈹は、転炉に装入され、酸素濃度の高い空気を吹き込んで鈹に含まれる銅以外の金属を更に酸化させ、銅品位９９％の粗銅と珪酸系酸化鉄の鍰を作る。

(3)　(1)及び(2)の酸化及び還元の過程は、次の化学式で表すことができる。

a　$4CuFeS_2$（銅精鉱）　＋　$2SiO_2$（珪酸）　＋　$5O_2$（酸素）
　　→　$2Cu_2$･FeS（鈹）　＋　2FeO･SiO_2　（鍰）＋　$4SO_2$（ガス）＋　反応熱

b　$2Cu_2S$･FeS（鈹）＋　SiO_2（珪酸）＋　$5O_2$（酸素）
　　→　4Cu（粗銅）　＋　2FeO･SiO_2（鍰）＋　$4SO_2$（ガス）＋　反応熱

２．７　社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）による銅精鉱の調査

本船に積載していた銅精鉱の性状及び当該銅精鉱が、貨物倉などの密閉区画の環境（雰囲気[*46]）に及ぼす影響についての調査が必要と判断し、社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）に当該調査を委託した。

2.7.1　調査に用いた試料

(1)　銅精鉱

①　パプアニューギニア独立国で積み出した貨物：Ok Tedi（オク　テディ）鉱（以下「試料Ａ」という。）

②　ペルー共和国で積み出した貨物：Cuajone（カホーネ）鉱（以下「試料Ｂ」という。）

③　チリ共和国で積み出した貨物：Cerro Corona（セロ　コロナ）鉱（以下「試料Ｃ」という。）

なお、試料Ａは、本船が積載した銅精鉱に該当する。

(2)　浮遊選鉱剤

Ｗ剤及びＸ剤に加え、日本製の浮遊選鉱剤の２種類（以下「Ｙ剤」及び「Ｚ剤」という。）を試料とした。

(3)　臭気ガス、結露水及び貨物温度

平成２２年３月３０日、試料Ａを積載した佐賀関港に入港中の他の貨物船の揚荷予定の貨物倉（１番及び３番貨物倉）から臭気ガスを、また、ハッチカバー（貨物倉側の面）に付着していた結露水をそれぞれ採取した。採取時期は、ハッチカバー開放とほぼ同時であった。

翌３１日に同船の１番貨物倉から採取した試料Ａの貨物温度は、４２．６℃であった。

試料Ａ採取当時に船上で計測した気象観測値は、次のとおりであった。

天気　曇り、風向　南、風力　３、気温　１４℃、海水温度　１２℃

[*46]　「雰囲気」とは、ある特定の気体やそれを主とした混合気体の状態をいう。

2.7.2　調査方法と得られた結果

社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）の調査報告書（以下「銅精鉱分析調査資料」という。）によれば、概略以下のとおりであった。

(1)　銅精鉱の酸化状況

①　調査方法

a　約６５０mℓの容器に空隙が３０％又は７０％となるように試料Ａ～Ｃをそれぞれ入れて密封し、密封容器の環境温度を４０、６０及び８０℃と変えて酸素濃度を測定した。

b　空隙が７０％で、試料の水分が１５％となるように水分を添加し、密封容器の環境温度を４０、６０及び８０℃と変えて酸素濃度を測定した。

②　得られた結果

a　空隙の酸素濃度は、環境温度や密閉容器中の空隙に関わらず、時間経過に伴ってほぼ直線的に減少した。

b　直線の傾きに相当する‘銅精鉱の酸化反応による酸素消費速度’（以下「酸素消費速度」という。）は、環境温度が高いほど速くなった。

c　銅精鉱の産地により、銅精鉱の化合分子状態、使用した浮遊選鉱剤などが異なることから酸素消費速度が異なり、用いた試料のうち、試料Ａが最も酸素消費速度が速かった。

試料Ａを空隙７０％として密封した場合、４０℃の環境温度では、計測開始時に２０．９％であった空隙の酸素濃度が、６時間後には６．８％に低下した。同じ酸素消費速度を保った場合、計測開始後約９時間でほぼ０％になることが見込まれた。

また、試料Ａを空隙３０％として密封した場合、４０℃の環境温度では、計測開始時に２０．９％あった空隙の酸素濃度が、１０時間後には３．０％未満となった。

d　試料Ａについて、空隙７０％として密封した場合、６０℃の環境温度では、空隙の酸素濃度は、計測開始後３時間で８．０％に低下し、同じ酸素消費速度を保った場合、計測開始後約５時間でほぼ０％になることが見込まれた。

また、空隙３０％として密封した場合、６０℃の環境温度では、空隙の酸素濃度は、計測開始後３時間半で４．５％に低下し、同じ酸素消費速度を保った場合、計測開始後約４時間半でほぼ０％になることが見込まれた。（８０℃の場合の結果は、別添　銅精鉱分析調査資料　抜粋参照）

e　試料の水分が１５％となるように水分を添加した場合、各試料、各空

隙、各環境温度のいずれにおいても、酸素消費の反応速度が遅くなった。

ちなみに試料Ａの場合は、次のような結果であった。

空隙７０％、４０℃の場合、計測開始後７時間で酸素濃度が１０．０％となった。

空隙７０％、６０℃の場合、計測開始後４時間で酸素濃度が６．０％となり、計測開始後約５時間半でほぼ０％になることが見込まれた。

f　一般的には$CuFeS_2$（黄銅鉱：銅精鉱）の酸化は、以下の反応式で示すことができる。

(a)　黄鉄鉱の酸化により、硫酸と硫酸第１鉄が発生する。

$$FeS_2 + 7O + H_2O \rightarrow FeSO_4 + H_2SO_4$$

(b)　硫酸第１鉄から硫酸第２鉄への酸化反応が起こる。

$$4FeSO_4 + O_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

(c)　黄銅鉱（銅精鉱）の酸化と硫酸銅の発生に至る。

$$4CuFeS_2 + 17O_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 4CuSO_4 + 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

$$CuFeS_2 + 2Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow CuSO_4 + 5FeSO_4 + 2S$$

(2)　浮遊選鉱剤の影響

①　調査方法

a　１０５℃で乾燥した試料Ａに試料Ａの５％重量相当の浮遊選鉱剤W剤～Ｚ剤をそれぞれ添加した試料を空隙が７０％となるよう容器に密封して４０℃の環境温度とし、２４時間後の容器の上層及び下層の酸素濃度を測定した。

b　乾燥する前の試料Ａと１０５℃で乾燥後の試料Ａに浮遊選鉱剤を添加せずに試料Ａを空隙が７０％となるよう容器に密封して４０℃の環境温度とし、２４時間後の容器の上層及び下層の酸素濃度を測定した。

c　１０５℃で乾燥した試料Ａ１００ｇに約３００㎖の純水を加え、回転子で５分間かくはんし、３０分後にろ過する操作を行った。

この操作を４回繰り返して洗浄した試料Ａに浮遊選鉱剤W剤～Ｚ剤をそれぞれ添加し、a と同様な条件として２４時間後の容器の上層及び下層の酸素濃度を測定した。

②　得られた結果

a　いずれの浮遊選鉱剤を添加した場合も、容器下層の方が、上層より酸素濃度が低かった。

b　浮遊選鉱剤Ｘ剤を添加した場合の酸素濃度が最も低く、上層で１０．１％、下層で６．３％であった。

c　乾燥する前と１０５℃で乾燥後では、乾燥前の方が次のとおり、容器

の酸素濃度は低くなった。

乾燥前：上層５．４％　　下層３％以下

乾燥後：上層１６．３％　下層１６．０％

d　洗浄した試料と洗浄しない試料にそれぞれ浮遊選鉱剤を添加した場合、W剤及びX剤を添加した試料は、洗浄しない場合の方が洗浄した場合より、容器中の酸素濃度が低かった。

また、添加する浮遊選鉱剤により、次のとおり、酸素濃度に差が生じた。

試料を洗浄しない場合：酸素濃度が低い順に　X剤, W剤, Z剤, Y剤

試料を洗浄した場合：酸素濃度が低い順に　Z剤, X剤, Y剤, W剤

(3)　臭気ガスの解析

①　調査方法

貨物倉から採取した臭気ガスをテトラパックに密封し、成分の定性分析を行った。

②　得られた結果

臭気ガスの成分は、トルエン、キシレン（以上芳香族炭化水素類)、ジエチルアセトアミド（エステル化合物）及びフェノール（フェノール類）であり、いずれも人体に有害な物質であった。

(4)　発生ガスの解析

①　調査方法

a　１０５℃で乾燥した試料Aに試料Aの５％重量相当の浮遊選鉱剤W剤～Z剤をそれぞれ添加した試料を空隙が７０％となるよう容器に密封して４０℃の環境温度とし、２４時間後のガスを検出した。

b　浮遊選鉱剤W剤～Z剤の原液のみをそれぞれ空隙が７０％となるよう容器に密封し、４０℃の環境で２４時間後のガスを検出した。

②　得られた結果

a　W剤の場合、原液のみでは、エーテル類（cs-1 ブテン、トキシ）が検出されたのに対し、試料Aに添加した場合にはエーテル類が検出されず、エステル類（2-メチルペンチルブチレート）が検出された。

b　X剤から検出された成分と貨物倉から採取した臭気ガスのいずれからもトルエン及びキシレンが検出された。

(5)　結露水の解析

①　調査方法

a　pH を測定した。

b　定性分析をした。

② 得られた結果

硫酸イオン（SO_4^{2-}）の検出値が低かったことから、貨物倉内で高濃度の硫化水素が発生した可能性は少ないと考えられる。

(6) まとめ

銅精鉱の酸素消費に伴い空隙の酸素濃度は、直線的に減少する。

また、銅精鉱の産地により、化合分子形態、使用された浮遊選鉱剤などが異なることから、酸素消費速度が異なることが確認された。

２．８ 酸素欠乏症及び硫化水素中毒について

症状等

厚生労働省の資料（Website「なくそう！酸素欠乏症・硫化水素中毒」、www.mnhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/040325-3.html）によれば、次のとおりである。

(1) 酸素欠乏症

空気中の酸素濃度が低下することを酸素欠乏といい、酸素欠乏状態の空気を吸入することで酸素欠乏症にかかります。酸素欠乏症にかかると目まいや意識喪失、さらには死に至る場合があります。

(2) 酸素欠乏症の症状等

酸素濃度	*症　状　等*
２１％	*通常の空気の状態*
１８％	*安全限界だが連続換気が必要*
１６％	*頭痛、吐き気*
１２％	*目まい、筋力低下*
８％	*失神昏倒、７～８分以内に死亡*
６％	*瞬時に昏睡、呼吸停止、死亡*

(3) 硫化水素中毒

硫化水素は自然界の様々な状況で発生しています。汚泥等のかくはんや化学反応等によっては急激に高濃度の硫化水素ガスが空気中に発散されることもあります。硫化水素ガスは嗅覚の麻痺や眼の損傷、呼吸障害、肺水腫を引き起こし、死に至る場合もあります。

(4)　硫化水素中毒の症状等

硫化水素濃度	*症　状　等*
５ppm 程度	*不快臭*
１０ppm	*許容濃度（眼の粘膜の刺激下限界）*
２０ppm ↓ *３５０ppm* ↓ *７００ppm*	*気管支炎、肺炎、肺水腫* ↓ *生命の危険* ↓ *呼吸麻痺、昏倒、呼吸停止、死亡*

２．９　本件荷役会社の労務管理について

本件荷役会社の労務管理に関する文書によれば、次のとおりであった。

(1)　労働安全マネジメントシステム

本件荷役会社は、ＯＨＳ（Occupational Health and Safety:労働安全衛生）マニュアル第４版（２００８年４月１日制定、同年１２月１日改正）に労働安全マネジメントシステムに関する必要な事項を定め、当該システムの確立及び維持と労働安全衛生パフォーマンスの向上につなげることを目指していた。

当該マネジメントシステムの適用範囲は、本件製錬所及び本件荷役会社を含む関係会社の構内事業所としていた。

ＯＨＳマニュアルは、本件製錬所の担当者が務めるＯＨＳ事務局が、マニュアルの管理責任者であるマネジメント責任者の事務を代行して作成等に当たり、同責任者の審査を経て本件製錬所所長が委員長を務める安全衛生管理推進委員会で審議され、同所長が承認して運用されていた。

また、本件荷役会社は、労働安全マネジメントシステムの一環として係船、酸素濃度測定、揚荷役等の作業ごとに作業手順、作業分掌、遵守事項などを定めた作業標準書を作成していた。

(2)　酸素欠乏危険作業に関する遵守事項

本件荷役会社は、ＯＨＳマネジメントシステム初版（２００８年２月１日制定）に、「酸素欠乏危険作業に関する遵守事項」として次のことを定めていた。

各課は酸素欠乏症等の恐れのある危険作業場所及び危険作業を定め、それらの作業を行う場合には、作業主任者を選任しなければならない。

選任された作業主任者は、酸素欠乏症等を防止するため、決められた職務を遂行しなければならない。

(3)　酸素濃度測定標準

本件荷役会社は、作業標準書中、「酸素濃度測定標準（船内作業）」に次のこ

とを記載していた。

１．　適用範囲

この標準は、船倉内作業を行う際に事前に酸素濃度を測定し、船倉内作業時の酸欠による災害を防止することを目的とする。

また、この標準は、酸素欠乏危険作業主任者、船内荷役作業主任者及び船内作業者の酸素欠乏危険作業に関する禁止事項を定める。

２．　作業対象者

船内作業者（酸素欠乏危険作業特別教育及び粉塵(ふんじん)作業特別教育修了者）

３．　着装保護具

防塵マスク、統一作業服、保安帽、安全短靴、ビニスター手袋、防塵メガネ（必要に応じて）

４．　使用設備、使用器具工具

酸素濃度測定器

５．　作業手順

1.　船内酸素濃度測定者について

1）酸素濃度測定者は、荷役係の酸素欠乏危険作業主任者とする。

2）酸素濃度測定は、有資格者（酸素欠乏危険作業主任者）の中から要務者が指名した者が行う。

2.　酸素欠乏危険作業主任者の役割について

1）酸素欠乏危険作業主任者は、次の事項を行う。

①　本船が入港し、各ハッチ口が開放された後、船内に作業員が入る前に船内の酸素濃度を測定する。

②　船倉内の酸素濃度が１８％以上あることを確認し、船内荷役作業主任者に測定結果を報告する。

③　測定結果は、当日の作業日報に記入し、異常の有無を要務職に報告する。

- *ハッチ開放直後は、無酸素ガスが出る恐れがあるので数分おいて測定にかかる。*
- *測定箇所は、規定されたハッチ内の３点で行う。*
- *測定の結果を記録簿に記載する。*

3.　船内荷役作業主任者の酸素危険作業についての順守事項について

1）船内荷役作業主任者は、酸素欠乏危険作業主任者の測定結果の報告を受け、酸素濃度が１８％以上なければ作業員を船倉内に入れてはならない。

4.　船内作業者の順守事項について

1）船内作業者は、船内荷役作業主任者の許可がなければ、船倉内に

入ってはならない。

2）船内作業者は、酸素欠乏危険作業特別教育修了者でなければならない。

5.　過去の災害事例

平成１７年６月２６日作業員１名が未開放の船倉内に誤って入り、酸素欠乏により死亡。

(4)　過去の災害事例

災害調査表によれば、概ね次のとおりであった。

①　発生日時　平成１７年６月２６日（日）１２時３０分ごろ

②　発生場所　本件製錬所構内の専用岸壁に係船中の船舶（以下「A船」という。）の貨物倉内

③　発生状況

重機、スコップ及びほうきを用いてA船の１番貨物倉内の残貨物を集める作業を命じられた作業員が、揚荷役の予定がなかった２番貨物倉の昇降口下方の踊り場で横たわっているところを救助隊に発見された。

踊り場付近の酸素濃度は、１４％であった。

病院に搬送されたが、死亡が確認された。

④　死因

酸素欠乏による窒息死であった。

(5)　過去の災害発生後にとった措置

本件荷役会社担当者の口述及び災害対策及び実施計画書によれば、概ね次のとおり措置されていた。

①　作業標準書に「作業員を船倉内に立ち入らせる場合の安全な作業指示」を新規に加え、荷役作業員全員に教育して周知徹底する。

②　進入許可表示板（2.1.2(4)参照）を作成し、掲示する。

③　「船倉昇降口配置図」を作成し、荷役事務所（ミーティング室）及び本船乗船口に掲示して立入りを許可する昇降口の位置を明示する。

（次写真　『船倉昇降口配置図』　参照）

『船倉昇降口配置図』

④　各管理職に対し、酸素欠乏危険作業の総点検をするよう指示する。
⑤　全管理職及び要務職に対し、酸素欠乏症等防止規則を教育する。
⑥　酸素欠乏症に関するビデオ教育を全員に実施する。
⑦　酸素欠乏症について、定期的に教育を実施する。
⑧　酸素欠乏危険作業に関する特別教育を実施する。
⑨　酸素欠乏危険主任者技能講習を実施する。
⑩　ＫＹ（危険予知）シート及びビデオを利用した教育を月に１度行う。
⑪　毎日の朝礼で教育する。
⑫　相互コミュニケーションを図る仕組みを築く。
⑬　要務職が行う作業開始直後の巡視について見直す。

(6)　従業員に対する講習

酸素欠乏危険作業特別教育実施記録等によれば、次のとおりであった。

①　本件荷役会社は、労働安全衛生規則に則り、社内の有資格者を講師とする「酸素欠乏危険作業特別教育」講習を催し、従業員に受講させた。
②　科目は、「酸素欠乏の発生原因」、「酸素欠乏症の症状」、「空気呼吸器等の使用方法」、「退避及び救急蘇生の方法」、「酸欠等の防止に関する事項」及び「関係法令」であり、受講時間は合計約４時間半であった。
③　本件荷役会社は、受講者に対して特別教育終了証を発行した。

２．１０　酸素濃度測定の実態など

(1)　記録簿の様式

①　本件荷役会社の記録簿には、「*船倉内測定位置及び測定結果*」と記載された各測定箇所の酸素濃度を記載する記録欄が設けられていた。
②　記録簿は、１貨物倉につき、両舷ハッチコーミングの船首部、中央部及び船尾部下層の測定箇所計６か所、また、船首部及び船尾部の２か所の昇降口については、上、中及び下層の測定箇所計６か所が空欄で示され、計測した酸素濃度を記録できる仕様であった。すなわち、１貨物倉につき、最大１２か所の酸素濃度を記録することができた。

(2.1.2(5)　『記録簿写』、『同記録簿抜粋』　参照)

(2)　過去の記録簿

平成１９年１月３日～同２０年１２月２９日の間に着岸した船舶１５７隻の記録簿によれば、次のとおりであった。

①　１貨物倉当たりの計測箇所数と該当する船舶数は、以下のとおりであった。
１２か所：６４隻、１０か所：６０隻、８か所：１隻、７か所：１隻、６か所：２０隻、５か所：１隻、４か所：９隻、０か所（酸素濃度記録の

無記載）：１隻

② 平成２０年４月７日以降、両舷ハッチコーミングの中央下層の計測が省略され始め、計測が１０か所となっている記録簿が増えた。

③ 複数の貨物倉の揚荷を行う場合、貨物倉毎に計測箇所が異なるケースがあった。以下にその一部を示す。

例１：平成１９年２月２１日

１番貨物倉：ハッチコーミング船首部右舷の下層部及び船尾部左舷の下層部の計２か所

２番貨物倉：ハッチコーミング船首部左舷の下層部及び船尾部右舷の下層部の計２か所（昇降口の計測は、両貨物倉共に船首側は下層、船尾側は上層を計測していた。）

例２：平成１９年１２月６日

１番貨物倉：ハッチコーミング船首部両舷の下層部の計２か所
船首側昇降口の上層部及び船尾側下層部の計２か所

２番貨物倉：ハッチコーミング船尾部両舷の下層部の計２か所
船首側昇降口の下層部及び船尾側上層部の計２か所

例３：平成２０年６月１６日

２番貨物倉：ハッチコーミング船首部両舷の下層部及び船尾部両舷の下層部の計４か所
船首側昇降口の上層部及び船尾側下層部の計２か所

４番貨物倉：ハッチコーミング船首部両舷の下層部及び船尾部右舷の下層部の計３か所
船首側昇降口の下層部及び船尾側上層部の計２か所

④ 記録簿の測定者の署名欄によれば、上記期間中、フォアマンを含む少なくとも６人の荷役監督が、酸素濃度測定に携わっていた。

なお、１５７隻の記録簿中、３隻の記録簿には、測定者の署名が記載されていなかった。

⑤ 記録簿に記載された酸素濃度は、全て２０．９％であった。

⑥ 測定日時の記載欄が設けられていたが、測定の開始時刻及び終了時刻のいずれなのかは、記載されていなかったので、測定に要した時間は分からなかった。

(3) 酸素濃度測定の実態

本件荷役会社の本事故調査担当者及び作業員の口述によれば、本事故発生以前の酸素濃度測定の実態は、次のとおりであった。

① 他の１人の荷役監督は、ハッチ両舷各３か所から酸素濃度計のセンサーを

投入し、各箇所の上中下３点の酸素濃度を計測していた。

昇降口の酸素濃度は計測していなかった。

他の１人の荷役監督とフォアマンの計測方法は同じだった。

② ハッチコーミング四隅からセンサーを投入し、上、中及び下層の計１２か所の酸素濃度を計測していた。

③ ハッチコーミング四隅に加え、船首側の昇降口付近を計測していた。

④ 昇降口の酸素濃度計測を規定していなかった。

⑤ 本件荷役会社は、酸素濃度の計測の実態を把握していなかった。

⑥ 計測した酸素濃度が２０．９％未満の場合、２０．９％に回復するまで計測を継続していたので、記録簿の値が、全て２０．９％でも不思議はない。

⑦ 本件荷役会社の作業員は、荷役監督から貨物倉への進入許可がなくても、昇降口に進入許可表示板が掲示されていれば、貨物倉に入っていた。

⑧ 本件荷役会社の作業員は、酸素濃度計測者から酸素濃度を知らされたことはないが、貨物のにおいや進入許可表示板を頼りに貨物倉に入っていた。

⑨ ふだん、酸素濃度を余り意識せず、貨物倉内のにおいや勘に頼っていた。

⑩ 状況によって変わるが、フォアマンは、進入許可表示板の掲示、酸素濃度計測、本船乗組員との打合わせの順に作業することもあれば、進入許可表示板を掲示する途中で酸素濃度を計測することもある。作業手順は、計測者（酸素欠乏危険作業主任者でもある荷役監督）に一任されていた。

⑪ 過去にフォアマンが、酸素濃度を計測していたのを見た。

フォアマンは、へその辺りがハッチコーミングに当たるくらいの姿勢で酸素濃度計のセンサーを貨物倉内に下ろしていた。計測箇所の数は分からない。

⑫ 操作員Ｄ及び操作員Ｆは、これまで、酸素濃度計を使ったことはなかった。

(4) 本事故発生当時の酸素濃度測定の状況

本件荷役会社の社員、作業員及び本船乗組員の口述によれば、次のとおりであった。

フォアマンが酸素濃度測定器を持参していたこと、及び進入許可表示板を昇降口に掲示しているところを見たが、各員いずれも担当業務に当たっていたので、酸素濃度を計測するところまでは見ていない。

(5) 操作員Ｆが貨物倉に入る前に認識した酸素濃度

操作員Ｆの口述によれば、概ね次のとおりであった。

運転手Ｂが貨物倉内で倒れたことを聞いたとき、酸素欠乏症によるものだと判断した。

酸素欠乏症の症状、酸素欠乏になりやすい場所、過去の事故例及び救助に赴くことが困難であることなどを会社から教育されていたが、事故発生当時、

焦って「どうしよう、どうしよう」と思った。

現場付近に自分一人しかいなければ、貨物倉に入らなかったと思うが、他の作業員が貨物倉に入ったので、自分も貨物倉に入って救助しなければならないと思い、ついて行った。

２．１１　本船以外の船舶の酸素濃度等に関する情報

(1)　本事故発生後の酸素濃度の計測方法等

本件製錬所の担当者から得た記録簿等によれば、次のとおりであった。

本事故後、酸素濃度測定者（酸素欠乏危険作業主任者）及び補助者（酸素欠乏危険作業特別教育終了者）の二人一組により、測定器１台を用いて１貨物倉に付き１８か所の酸素濃度を計測する方法に変更した。

当該計測方法により、ポートモレスビー港で銅精鉱を積載し、平成２１年１１月２８日に入港した他の貨物船（以下「Ｂ船」という。）の２貨物倉併せた合計３６か所の酸素濃度の測定に作業員が要した時間は、２０分であった。

(2)　Ｂ船の貨物倉内の酸素濃度

船舶事故調査官が、Ｂ船の貨物倉内の酸素濃度を計測した際の状況は、次のとおりであった。

①　０８時３９分１番貨物倉のハッチカバーを開放した。そのときの上甲板の酸素濃度は２０．０％であった。

②　１番貨物倉のハッチコーミング左舷後部下方の貨物表層付近の酸素濃度の変化は、次のとおりであった。

０８時４０分１８．９％、４１分２０．６％、４８分２０．７％。

③　０８時５０分以降の１番貨物倉のハッチコーミング右舷後部下方の貨物表層付近の酸素濃度の変化は、次表のとおりであった。

計測時刻（ごろ）	酸素濃度（％）
０８:５０	１６．７
０８:５１	１８．０
０８:５１半	１５．８
０８:５４	１９．４→１８．９→１９．８→１８．８
０８:５５	２０．０→１８．５→２０．０
０８:５６	１９．２
０８:５９	１７．９→２０．９
０９:００	２０．９％となり、以後変化を認めなかった。

④　酸素濃度計測当時にＢ船上の気象観測値は、次のとおりであった。

天気　曇り、風向　北北西、風力　５（風速約１０m/s)、気温　１０℃

(3)　酸素濃度が著しく低かった船舶

本件製錬所が提出した過去の入港実績記録によれば、次のとおりであった。

本船が入港してから平成２１年１１月２８日までの間、佐賀関港に入港した本船を含む銅精鉱積載船４５隻のうち、貨物倉内の酸素濃度が著しく低かった船舶が、本船の他にもう１隻あった。

当該船舶は、ペルー共和国で銅精鉱（Cuajone 鉱）を９，８８７mt 積載し、計測した酸素濃度は１．３％であった。

２．１２　揚荷役作業に関する情報

2.12.1　揚荷役作業基準

作業標準書に定めた「揚げ荷役作業」には、次のことが記載されていた。

１．　適用範囲

この標準は広浦岸壁（A、B）に接舷した鉱石船の揚荷役作業に適用する。

なお、この作業に関連する作業標準として次のものが有る。

①　本船離接岸及び綱取放し作業標準

②　揚荷装置運転操作

③　パワーショベルによる船内掻き出し作業

④　クレーン運転操作

⑤　大型ブラシによる船内清掃作業

⑥　パワーショベルによる船内掻き出し作業

また、作業手順には、次のことなどが記載されていた。

酸素欠乏の恐れがある場合は事前に酸素測定器でチェックした後に入る。

昇降口に表示板を取り付けた所を出入する。「立入禁止板」の所は絶対入らない。

2.12.2　揚荷役手順の変更

本件製錬所社員の口述及び作業標準書によれば、次のとおりであった。

(1)　荷役方法は、平成１６年ごろから、重機車両をハッチカバー開放後間もなく搬入するようになった。

(2)　荷役方法を変更した理由は、以下の２点であった。

①　重機車両で貨物を適宜中央に集めて荷役効率を上げること。

②　荷役の途中で重機車両を搬入する際、陸上クレーンを移動して対応することにより生じる荷役の中断を回避すること。

(3)　揚荷手順変更以前の荷役は、クレーンでつかめる限りの貨物を揚げ、その後、重機車両を貨物倉に搬入していた。

２．１３　安全保護具などに関する情報

2.13.1　酸素濃度計測器

本件荷役会社は、酸素濃度計測器１台を荷役事務室に装備していた。

酸素濃度計測器は、平成１７年７月に製造され、平成２０年５月２３日に校正[*47]が実施され、酸素濃度の計測範囲が０～５０％、防爆型で、センサーコードの長さが約１０ｍあり、検知酸素濃度が１８％まで下がると「ピピピピ」という警報音が鳴って赤色ランプが点滅した。酸素濃度測定器は正常に機能した。

（次写真　『酸素濃度計測器』　参照）

『酸素濃度計測器』

2.13.2　自蔵式空気呼吸器

本件荷役会社は、自蔵式空気呼吸器（脚注１９参照）一式を荷役事務所に装備していた。

本件製錬所から得た空気呼吸器の取扱説明書によれば、次のとおりであった。

自蔵式空気呼吸器は、面体内圧力を陽圧に保つ仕様（プレッシャデマンド形）であり、酸素欠乏空気などを吸引するおそれがある場合に使用できる。

主たる仕様は、次のとおりである。

(1)　仕様ガス　空気

(2)　最高充填圧力（空気ボンベ）　14.7MPa

(3)　警報器（ホイッスル式）鳴動圧力　3MPa

(4)　最大補給量　約 500ℓ/分

(5)　空気ボンベ内容積　8.4 ℓ

(6)　最大携行空気量　1,260 ℓ

(7)　使用時間　３１分（大気圧下）

ただし、使用時間は、着装者の訓練、経験の程度、精神的及び肉体的要因、作業内容又はボンベ充填圧力によって異なる。当該使用時間は、最大空気携行量において、呼吸量が約 40ℓ／分の作業の場合を示す。

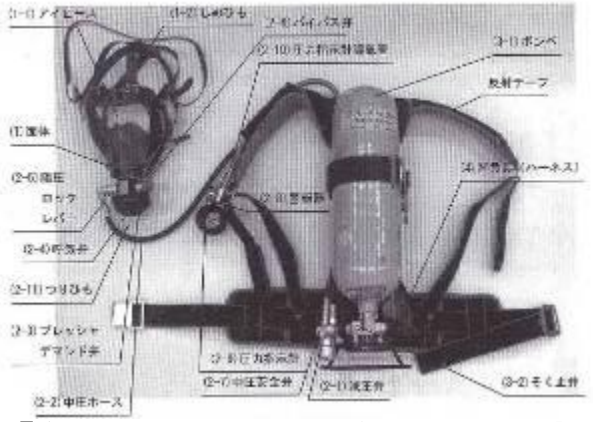
[*47]　「校正」とは、測定機器の指示値が正確であるかを検証する作業をいう。

(8)　総質量　4.8Kg

(9)　空気ボンベ寸法　外径　172mm、長さ　490mm

（次写真　『自蔵式空気呼吸器』、『自蔵式空気呼吸器　取扱説明書抜粋』　参照）

『自蔵式空気呼吸器』



『自蔵式空気呼吸器　取扱説明書抜粋』

2.13.3　自蔵式空気呼吸器の装着訓練等

(1)　本件荷役会社等

本件荷役会社担当者、操作員Ｄ、本件製錬所担当者の口述及び災害調査表によれば、次のとおりであった。

①　本件荷役会社は、自蔵式空気呼吸器の装着訓練に力を入れていたが、非常時に同空気呼吸器を使用して救助作業に当たることには重点を置いていなかった。

②　本件荷役会社の実践訓練を受けていない作業員が、自蔵式空気呼吸器を装着しても、救助することは不可能だと考えていた。

③　本件製錬所は、自蔵式空気呼吸器を装着して事故現場に救助に向かうことは不可能ではないものの非常に困難を伴うと考えていた。

④　操作員Ｃは、過去、別会社に勤務していた際、自蔵式空気呼吸器（対酸素欠乏）及びガスマスク（対有毒ガス）を装着した救護訓練の経験があったが、本件荷役会社では、自蔵式空気呼吸器（対酸素欠乏）装着訓練の経験はあったが、救護訓練の経験はなかった。

(2)　本船

船長、一等航海士及び三等航海士の口述によれば、次のとおりであった。

①　三等航海士は、事故現場を目撃してパニック状態になったように見えた。

②　本船は、４～５組の自蔵式空気呼吸器（UNITOR 製、UNIPACK COMPRESSED AIR BREATHING APPARATUS）を装備していた。

③　三等航海士は、甲板手の職務に就いていた頃、救助班だったことがあり、自蔵式空気呼吸器を装着したことがあった。

２．１４　荷役関係者又は本船乗組員が救助に向かうことに関する情報

(1)　標記に関する大分東消防署署長の回答書によれば、次のとおりであった。

関係者が、酸欠事故に遭遇した要救助者を発見し消防隊到着前に空気呼吸器を装着して救助に向かうことについては、事故に対応するマニュアルが確立され、しかも空気呼吸器の装着等に熟知している場合には、早期に救助に向かうことが望まれる。しかし、事故発生場所が極めて救助に困難を要する場所であるならば熟練者といえども二次事故の危険度が非常に高くなる。

救助活動は、災害現場が常に状況変化するため二重三重の安全管理を前提に行うことが重要である。

(2)　標記に関する東京消防庁消防総監の回答書によれば、次のとおりであった。

１　救助隊の空気呼吸具の使用及び装着訓練の頻度及び内容について

東京消防庁の消防吏員は、採用後、消防学校において空気呼吸器の取り扱いなど基礎的な事項を習得します。消防学校卒業後、消防署等においては災害現場に出場する隊員が、災害現場で安全かつ適切に取り扱えるように、毎当務使用前点検と着装訓練を実施しています。

２　酸欠、有毒ガスの滞留などの雰囲気が認識される区画での救助作業に当たる場合に留意すべき事項について

酸欠空気、有毒ガスの滞留などが認識される場所へ進入する場合、消防隊は、空気呼吸器の完全着装を徹底し、必要に応じて毒劇物防護衣、陽圧防護衣等を着装するとともに、原則として複数人で班を作り、安全な地域から測定器を用いて酸欠空気、有害ガスなどの測定を行いながら進入します。測定器の数値により、活動が危険であると判断した場合には、その危険要因の排除又は緊急退避を行います。また、特殊な化学物質等に起因する災害の場合は、化学災害対応に特化した部隊が出場し、その物質の濃度及び危険性について分析します。

測定した結果により、一般人の立ち入りを規制する消防警戒区域や有毒ガスに対応できる身体防護をしていない隊員の立ち入りを制限する進入統制ラインを設定し、二次的被害の防止を図ります。

要救助者が有毒ガスに汚染されている場合は、汚染の拡大を防止できる場所で除染してから救急隊に引き継ぎます。

３　救助隊が行う空気呼吸器の使用及び装着の訓練を行っていない者が、前２に記載の雰囲気が認識される区画に入ることの可否などに関する意見について

東京消防庁では、空気呼吸器の使用及び装着の訓練を行っていない者が、災害現場に出場することはありません。

また、当庁の活動基準では、当庁職員以外の者が前２に記載されている区画に入ることを消防警戒区域等で規制しています。

２．１５　貨物倉の換気等に関する情報

本件製錬所及び本件荷役会社の担当者並びに他の複数の作業員の口述によれば、概ね次のとおりであった。

(1)　船舶が着桟すれば、酸素濃度を計測していると思い、安心して貨物倉に入っていた。異常があれば荷役監督が教えてくれた。

(2)　本事故当時の荷役方法に変更される以前においては、ハッチ開放直後に貨物倉に入ることはなかったので、作業員が貨物倉に入る頃には空気がほとんど入れ替わっていたと思う。

(3)　これまでの自然換気の実績から考えると本事故発生当時も、貨物倉内の自然換気が可能であったと思っていたので、本事故を知った際には驚いた。

(4)　ハッチカバーが開放されて時間がたてば、貨物倉内が酸素欠乏状態ではなくなるという意識があったかもしれない。

(5)　これまで、酸素欠乏の雰囲気（酸素濃度１８％未満）を計測したことはなかった。

(6)　４年前に発生した事故以来、本事故同様の大きな事故は発生していない。

２．１６　気象及び海象に関する情報

(1)　気象観測値

大分地方気象台による本事故発生時間帯の気象観測値は、次のとおりであった。

０８時００分　風向　北北西、風速　１．２m/s、気温　２２．５℃

０８時３０分　風向　北西、風速　１．４m/s、気温　２２．７℃

０９時００分　天気　曇り、風向　北、風速　１．９m/s、気温　２３．０℃

(2)　救助隊員の口述によれば、次のとおりであった。

大分市舞鶴町に所在する通信司令センターで計測した気象情報が、出動命令と同時に司令書に記載されて出動部署に送付される。

当該司令書には、北西の風、風速０．５m/s、気温２３．１℃であることが記録されていた。

3　分　析

3．1　事故発生の状況

3.1.1　事故に至る経過

２．１及び２．１０から、次のとおりであった。

(1)　一次事故に至る状況

①　本船は、密閉された３番貨物倉等に銅精鉱を積載し、ポートモレスビー港から佐賀関港まで約１２日間かけて航行したが、この間に銅精鉱が酸化して３番貨物倉内の酸素を消費し、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になるとともに、銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤から人体に有害な臭気ガスが発生し、滞留していたものと考えられる。

②　本船は、佐賀関港の専用岸壁に係船し、銅精鉱の揚荷役のために３番貨物倉のハッチカバーを開放したが、３番貨物倉の空気は外気と置換されず、酸素欠乏状態の雰囲気が継続したものと考えられる。

③　一等航海士は、係船作業を終え、０７時５０分過ぎごろ、サーベイヤーと本船の喫水を読み取ったのち、あらかじめフォアマンと打ち合わせていた貨物の揚荷計画（Discharging Plan）に則り、当港で揚荷する予定の１番及び３番貨物倉のハッチカバーの開放を乗組員に命じたものと考えられる。

フォアマンは、０７時５０分頃から０８時０５分頃の間に進入許可表示板を３番貨物倉の昇降口に掲示したものと考えられる。

また、この間に貨物倉の酸素濃度を単独で計測した可能性があると考えられる。

④　運転手Ｂは、荷役作業に備えて３番貨物倉付近の上甲板で待機していたが、操作員Ｄに対して貨物のにおいが強いので３番貨物倉内に入らないものの、重機車両を３番貨物倉内に入れてほしい旨の連絡を行ったものと考えられる。

操作員Ｄはクレーンで重機車両を３番貨物倉内に入れていたところ、運転手Ｂが、３番貨物倉内に入り、貨物倉底部に移動していた際、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れ、貨物表層上に落下したものと考えられる。

(2)　二次事故に至る状況

①　フォアマン等は、荷役事務所で打合わせを行っていたところ、操作員Ｃ等から運転手Ｂが倒れた旨の報告を受け、自蔵式空気呼吸器を携帯した操作員Ｆと共に救助に向かい、フォアマン及び操作員Ｃが、自蔵式空気呼吸

器を装着せずに３番貨物倉に入り、フォアマンが、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れ、貨物の表層上に落下したものと考えられる。

② 操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れたものと認識していたので、フォアマン及び操作員Ｃを制止しようと思いながらも、自分も救助に行かなければならないと思い、３番貨物倉に入ったが、息苦しさを感じ、操作員Ｃの戻れという合図を受け、操作員Ｃと共に上甲板に戻ったものと考えられる。

(3) 三次事故に至る状況

① 一等航海士は、操作員Ｃ及び操作員Ｆに対して防毒マスクだけを装着して貨物倉に入ることは危険である旨の進言をしたが、このとき、操作員Ｆは、一等航海士が話す英語を理解できず、本船から渡された防毒マスクは酸素供給マスクであり、これを装着すれば大丈夫と思ったものと考えられる。

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、本船の防毒マスクを装着して３番貨物倉に再び入り、操作員Ｃが、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れ、貨物の表層上に落下したものと考えられる。

② 操作員Ｆは、危険を感じて昇降口付近まで戻ったところで、本船乗組員に上甲板に引き揚げられて救助されたものと考えられる。

3.1.2 事故発生日時及び発生場所

２．１から、次のとおりであったものと考えられる。

一次事故の発生日時は、平成２１年６月１３日０８時３０分ごろで、発生場所は、佐賀関港の専用岸壁に係船中の本船の３番貨物倉内であった。

また、二次事故及び三次事故の発生日時は、同日０８時３０分ごろ～同時４０分ごろの間で、発生場所は一次事故と同じであった。

3.1.3 死傷者等の発生に関する解析

2.1.2(6)～(10)、2.2.2、２．７及び２．８から、次のとおりであったものと考えられる。

(1) ３番貨物倉は、貨物表層に近づくにつれて酸素濃度が低下した雰囲気であった。

(2) ３番貨物倉内は、死亡に至らせる濃度の硫化水素及び一酸化炭素の各ガスは発生していなかった。

以上のことから、運転手Ｂ、フォアマン及び操作員Ｃは、酸素濃度が低下した３番貨物倉内に入ったため、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して死亡したものと考えられる。

３．２　事故要因の解析

3.2.1　本船の運航状況に関する解析

2.1.1、2.5.2 、2.5.3、2.6.2 及び 2.7.1(3)から、次のとおりであった。

(1)　本船は、航海指図書に従い、貨物倉の掃除、貨物の積付及び輸送を行ったものと考えられる。

本船は、荷送人の指示、ＢＣコード及びＩＭＳＢＣコードに則り、貨物倉の浸水に起因する銅精鉱の液状化による貨物の移動、空気の流入による銅精鉱の酸化及び潮濡れによるカーゴダメージを回避するため、ハッチカバーを閉鎖して３番貨物倉を密閉していたものと考えられる。

(2)　貨物は、本船積載時、雨水による水濡れはなかったものと考えられる。

(3)　しぶき等の影響

①　本船は、積地出港後から佐賀関港入港日（投錨）までの間、上甲板が波で洗われ、又はしぶきを浴びた日が６日あったものと考えられる。

②　波又はしぶきにより冷却された頻度は、３番貨物倉より船首側に位置する１番貨物倉の方が高かったものと考えられる。

(4)　貨物は、航行中、貨物倉の水密が保たれ、海水による潮濡れはなかったものと考えられる。

(5)　１番及び３番貨物倉の気密

３番貨物倉は、次のことから、水密に加えて気密が保たれた状態であったものと考えられる。

一方、１番貨物倉は、水密を保っていたが、気密までは保たれず、酸素欠乏状態にはならなかったものと考えられる。

①　ハッチカバーを開放した際、１番貨物倉のハッチカバーに結露水はなかったが、３番貨物倉のハッチカバー裏面からは多量の結露水が流れ落ちたこと。

②　本船のキングボルトの緩み具合などを明らかにできなかったが、荒天航海の影響を受けやすい船首方に位置する１番貨物倉のキングボルトが次第に緩んだ可能性があったこと。

(6)　３番貨物倉内の環境温度

本船が銅精鉱を積載していた３番貨物倉内の温度（環境温度）は、次のことから、本事故発生当時、約４０～６０℃であった可能性があると考えられ

る。

① 本船の航海中の正午の平均海水温度は約２９℃であり、平均外気温度は約２８℃であった。

② 平成２２年３月３１日に佐賀関港に入港した他の貨物船から採取した試料Ａの温度が４２．６℃であった。

③ 他の貨物船から試料Ａを採取した際の外気温度と海水温度は、①に記述した値よりもそれぞれ、約１４℃（外気温度差）及び約１７℃（海水温度差）低かった。

④ ①～③より、３番貨物倉内の環境温度は、少なくとも試料Ａの温度（４２．６℃）及び試料Ａの温度に外気温度差（約１４℃）又は海水温度差（約１７℃）を加えた値の間にあった。

3.2.2 委託調査の結果から想定できる３番貨物倉の雰囲気

2.1.1(1)、2.5.3、２．６、２．７及び 3.2.1 から、次のとおりであったものと考えられる。

(1) ３番貨物倉の雰囲気を示すモデル

社団法人日本海事検定協会（理化学分析センター）に委託した調査のうち、４０～６０℃の環境温度で空隙が７０％である条件下の酸素消費速度の測定結果（銅精鉱分析調査資料中、3/21 頁、表１及び図４）が、３番貨物倉の雰囲気を示すモデルに該当する。

(2) 専用岸壁に係船した頃の３番貨物倉の雰囲気

① 銅精鉱の酸化に伴い３番貨物倉内の酸素は消費され、３番貨物倉内の雰囲気が酸素欠乏状態になっていた。

② 浮遊選鉱剤が付着した銅精鉱を貨物倉に密閉した条件下では、下方ほど酸素濃度が低下し、銅精鉱の酸化に伴い酸素欠乏状態となった３番貨物倉内の酸素濃度は、計測箇所によって異なることとなった。

③ 銅精鉱の産地により、銅精鉱の化合分子状態、使用した浮遊選鉱剤などが異なることから、酸素消費速度は異なっていた。

④ 銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤から、空気より重い有害な臭気ガスが発生し、滞留していた。

(3) まとめ

本船は、ポートモレスビー港から佐賀関港に向けて航行中、積載していた銅精鉱が酸化して密閉されていた３番貨物倉内の酸素を消費し、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になるとともに、銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤から空気より重く人体に有害な臭気ガスが発生し、滞留していた。

3.2.3　ハッチカバー開放後の３番貨物倉の雰囲気

２．１、2.5.3(6)、２．６～２．８及び 3.2.2 から、次のとおりであったものと考えられる。

(1)　酸素濃度

①　救助隊員の計測により、０９時０７分ごろの上甲板付近の酸素濃度は、約１９％であった。

②　３番貨物倉に入った操作員Ｆの症状及び酸素欠乏症の症状等により、０８時３０分～４０分ごろの貨物倉中層付近の酸素濃度は、約１２～１６％であった。

③　操作員Ｄの計測により、０８時５０分ごろの貨物倉下層付近の酸素濃度は、約１．５～２％であった。

④　酸素濃度は、貨物倉の下方ほど低下していた。

(2)　雰囲気等

①　３番貨物倉は、本事故が発生した０８時３０分ごろから、操作員Ｄが３番貨物倉内の酸素濃度を計測した同時５０分ごろまでの少なくとも約２０分間以上酸素欠乏状態にあった。

②　３番貨物倉の酸素濃度分布は、浮遊選鉱剤が付着した銅精鉱を密封した解析実験の結果と同様に下方ほど酸素濃度が低い状況を呈したことから、解析実験の密封状況と同様に貨物倉内の空気は流動しない安定した雰囲気にあった。

③　浮遊選鉱剤から発生した空気より重い臭気ガスは、貨物倉の下方に滞留し、空気との置換が行われなかった。

④　３番貨物倉の空気は、風速０～１．４m/s の風では、自然換気による外気との置換が困難であった。

⑤　本件製錬所及び本件荷役会社は、自然換気によって酸素濃度が時間経過とともに２０．９％に上昇した過去の実績があったので、強制換気をする必要を感じなかった。

⑥　以上から、３番貨物倉は、ハッチカバー開放後も空気が外気と置換されず、酸素欠乏状態が継続していた。

(3)　貨物倉の下方ほど酸素濃度が低かった理由

①　銅精鉱の表層に接した空気により酸化反応が生じて酸素を消費すること。

②　空気より重い臭気ガスが、貨物倉の下方に滞留して下層の空気を押し上げたこと。

3.2.4　揚荷役作業及び事故発生等に関する解析

２．１から、次のとおりであった。

(1)　本件荷役会社のフォアマン、運転手Ｂ、操作員Ｃ、操作員Ｄ、操作員Ｆ等の７人は、本事故発生当日の０７時ごろから本船の揚荷役作業に従事する予定で本件作業班を編成したものと考えられる。

(2)　フォアマンは、本件作業班の各員に担当作業を割り振り、フォアマンが貨物倉の酸素濃度測定、進入許可表示板の掲示等を、運転手Ｂが３番貨物倉での重機車両の運転を、作業員Ｄがクレーンの運転等を担当していたものと考えられる。

(3)　フォアマンは、０７時５０分ごろ本船に乗船した後、後記(5)に記載の操作員Ｄへの指示を行った０８時０５分ごろまでの間において、１番及び３番貨物倉の昇降口に４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故後に定められた対策に基づく措置として進入許可表示板を掲示したものと考えられる。

(4)　フォアマンは、後記(5)記載の操作員Ｄへの指示を行うまでの間に貨物倉の酸素濃度計測を行った可能性があると考えられ、その後、荷役事務所に戻り、１番及び３番貨物倉の酸素濃度等を記録簿に記入したものと考えられるが、記録簿には、３番貨物倉の測定位置及び測定結果として両舷ハッチコーミングの船首尾各下層の計４か所、船首部昇降口の上層及び下層の計２か所並びに船尾部昇降口の下層１か所の酸素濃度が２０．９％、測定時刻が０８時３０分及び測定者がフォアマンであった旨の記入が行われていた。

(5)　操作員Ｄは、０８時０５分ごろ、フォアマンに呼ばれて乗船し、重機車両を貨物倉に入れてもよいとの指示を受け、２番クレーンを使用して１番貨物倉に重機車両を入れた後、３番クレーンの操縦席に乗り込んだものと考えられる。

(6)　運転手Ｂは、３番貨物倉の昇降口付近の上甲板で待機していたが、操作員Ｄに対して貨物のにおいが強いので３番貨物倉に入らないものの、重機車両を３番貨物倉内に入れてほしい旨の連絡を行い、操作員Ｄが３番クレーンを使用して重機車両を３番貨物倉内に入れていたところ、運転手Ｂが３番貨物倉の船尾部昇降口から３番貨物倉内に入り、貨物倉の底部に移動していた際、貨物の表層上に落下して倒れたものと考えられる。

(7)　フォアマン等は、荷役事務所で打合わせを行っていたところ、操作員Ｃ等から、運転手Ｂが３番貨物倉で倒れた旨の報告を受け、フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆは救助に向かい、操作員Ｆが携帯してきた自蔵式空気呼吸器を装着せずにフォアマン及び操作員Ｃが３番貨物倉に入り、続いて操作員Ｆも自蔵式空気呼吸器を装着せずに入ったが、フォアマンが貨物の表層上に落

下して倒れ、操作員Ｃ及び操作員Ｆは上甲板に戻ったものと考えられる。

なお、操作員Ｆは、３番貨物倉内で息苦しさを感じたものと考えられる。

(8) 操作員Ｃ及び操作員Ｆは、一等航海士の貨物倉に入ることが危険である旨の進言にもかかわらず、本船の防毒マスクを装着してフォアマン等の救助のために３番貨物倉に再び入り、操作員Ｃが貨物の表層上に落下して倒れたものと考えられる。

なお、操作員Ｆは、一等航海士が話す英語を理解できず、本船から渡されたマスクは酸素供給マスクであり、これを装着すれば大丈夫と思ったものと考えられる。

(9) 操作員Ｆは、危険を感じて昇降口まで戻ったところで、本船乗組員に上甲板に引き揚げられて救助されたものと考えられる。

(10) 本件製錬所から事故通報を受けた消防署は、救助隊等を出動させ、本船のクレーンとケージを使用して３番貨物倉からフォアマン等の３人を救助し、救急車で医療機関に搬送したものと考えられる。

3.2.5 ３番貨物倉の酸素濃度の計測等に関する解析

2.1.2(1)、(4)～(10)、２．３、２．１０、２．１１、2.12.2、2.13.1 及び２．１５から、次のとおりであった。

(1) 酸素濃度の計測者

フォアマンは、本船の荷役に先立つ貨物倉の酸素濃度の測定を単独で行ったものと考えられる。

また、一次事故発生前の酸素濃度の計測状況を知る者は、フォアマン以外にはいなかったものと考えられる。

(2) 一次事故発生前の酸素濃度の計測状況

フォアマンは、０８時０５分ごろ操作員Ｄを呼んで重機車両を入れても大丈夫と指示をしたことから、乗船した０７時５０分ごろから、操作員Ｄに重機車両投入を指示した０８時０５分ごろの間に貨物倉の酸素濃度を計測した可能性があると考えられる。

フォアマンが、酸素濃度計のセンサーを入れた箇所及び状況（貨物倉、コーミングの位置、センサーを下ろした深さなど）については、同人が死亡したこと、また、他に計測状況を知る者がいないことから、明らかにすることはできなかった。

(3) 一次事故発生後の酸素濃度の計測状況

① 一次事故発生後

フォアマンは、運転手Ｂの救助のために３番貨物倉に入ったが、この際

に酸素濃度を計測しなかったものと考えられる。

② 二次事故発生後

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、運転手Ｂ及びフォアマンの救助のために３番貨物倉に再び入ったが、この際に酸素濃度を計測しなかったものと考えられる。

③ 三次事故発生後

操作員Ｄは、０８時５０分ごろ、３番貨物倉の船尾左舷寄りのハッチコーミングからセンサーを入れ、約４～５ｍ下ろした途端、酸素濃度が１８％まで低下したことを知り、更にセンサーを下げ、フォアマン、運転手Ｂ及び操作員Ｃが倒れていた場所（二つ目の踊り場下方）付近の酸素濃度が約１．５～２％であることを知ったものと考えられる。

また、フォアマンが酸素濃度を計測した可能性があるハッチコーミング左舷後方の隅と二つ目の踊り場下方の運転手Ｂが落下した場所付近までの水平距離は、約５～６ｍであり、両場所の酸素濃度に大きな差が生じる可能性は少ないものと考えられる。

④ 二次事故等発生時の酸素濃度の計測と指導等の関係

フォアマン等は、３番貨物倉に入る際、酸素濃度の計測を行っていれば、二次事故及び三次事故の発生を回避できた可能性があると考えられる。

本件荷役会社は、自蔵式空気呼吸器の装着訓練に重点を置いていたが、同呼吸器を使用した救助訓練には重点を置いていなかったものと考えられ、また、過去に貨物倉で人身事故が発生した事例もあったものの、貨物倉で人身事故が発生した場合の対処法について作業員に適切な教育及び訓練を行っていなかったことから、フォアマン等が、酸素濃度の計測を行わずに３番貨物倉に入り、二次事故及び三次事故が発生した可能性があると考えられる。

したがって、本件荷役会社が、後記 3.2.7(4)のとおり、貨物倉で人身事故が発生した場合の対処法について作業員に適切な教育及び訓練を行っていなかったことは、二次事故及び三次事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

(4) 酸素濃度記録と計測の実態

平成１９年１月３日～同２０年１２月２９日の間に着岸した船舶１５７隻の記録簿によれば、１５７隻中９３隻（９３/１５７≒６０％）は、一部の記録欄に酸素濃度が記載されておらず、また、計測箇所なども、本件荷役会社のフォアマンを含む荷役監督によって異なっていた。

このことから、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督は、貨物倉の酸

素濃度計測を本件荷役会社が定めた方法によらず、各人がそれぞれ判断した箇所及び高さで計測することが、慣行になっていたものと考えられる。

また、本件製錬所及び本件荷役会社は、フォアマンを含む荷役監督が、各人の判断した箇所及び高さの酸素濃度を計測していた実態を把握して是正しておらず、定められた計測方法で行うように指導していなかったものと考えられる。

(5) 酸素欠乏状態を検知できた可能性

本事故発生の約２０分後、操作員Ｄが、酸素濃度計のセンサーを３番貨物倉船尾側左舷寄りのハッチコーミングから入れ、センサーを４～５m降ろした途端に警報音が鳴り始め、センサーを下ろすにつれて酸素濃度も低下していたものと考えられる。

一方、フォアマンは、３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板を掲示した際、上記(4)に記載した慣行が関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

これらのことから、本件製錬所及び本件荷役会社は、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握して是正し、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していれば、フォアマンは３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態であることを把握でき、一次事故等の発生を回避できた可能性があると考えられる。

本件製錬所及び本件荷役会社が、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握せず、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、一次事故等の発生に関与した可能性があると考えられる。

(6) 酸素濃度計の取扱い

操作員Ｄ及びＦは、これまで、酸素濃度計を使ったことはなかったものと考えられる。

3.2.6 酸素欠乏症等に関する知識

２．３及び２．９(3)、(5)、(6)から、次のとおりであった。

運転手Ｂ、フォアマン及び操作員Ｃは、いずれも酸素欠乏等危険作業特別教育（第２種）を受け、また、フォアマンは、職長教育及び酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者技能講習を受け、安全教育の講師を務めていたことから、フォアマン及び操作員Ｃは、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態にあることを認識できる知識があったものと考えられる。

3.2.7　３番貨物倉の雰囲気の把握及び同貨物倉に入った要因等

2.1.2、２．１０、２．１２及び２．１５から、次のとおりであった。

(1)　運転手Ｂ（一次事故発生時）

運転手Ｂは、３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板が掲示されていたこと、及び１番貨物倉に他の作業員が入って重機車両の運転を始めていたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識できず、作業を行うことができると思って３番貨物倉に入ったものと考えられる。

(2)　フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆ（二次事故発生時）

フォアマン及び操作員Ｃは、操作員Ｆが携行した自蔵式空気呼吸器を本船の上甲板に置いて３番貨物倉に入ったことから、運転手Ｂを救助することの責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かず、３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

また、フォアマン及び操作員Ｃは、次のことが関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

①　貨物倉は、ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいたこと。

②　４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかったこと。

操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れたものと認識していたので、フォアマン等の２人を制止しようと思いながらも、自分も救助を行わなければならないと思い、その責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、フォアマン等に続いて３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

(3)　操作員Ｃ及び操作員Ｆ（三次事故発生時）

操作員Ｃは、３番貨物倉に入ったが、操作員Ｆに戻れとの合図を送って上甲板に戻ったこと、及び自蔵式空気呼吸器を携行して再び３番貨物倉に入ったことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付いたものと考えられる。

また、操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れたものと認識しており、３番貨物倉に入って息苦しさを感じたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることの認識を強めたものと考えられる。

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、上甲板に戻って本船の防毒マスクを装着し、再び３番貨物倉に入ったものと考えられる。

上記及び上記(2)の記載から、操作員Ｃは、装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思ったこと、操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思ったこと、両人は、引き続き責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いていたこと、及び一次事故発生後に救助に赴いた際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかったことから、再度、３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思い、これを装着すれば大丈夫と思ったことから、防毒マスクと酸素供給マスクの見分けができなかった可能性があると考えられる。

また、操作員Ｃも防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思った可能性があると考えられるが、同人が死亡したことから、その理由を明らかにすることができなかった。

(4)　まとめ

フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、一次事故発生時に３番貨物倉の雰囲気を確認せずに３番貨物倉に入り、また、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、二次事故発生時、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを知りながら、防毒マスクを装着して３番貨物倉に再び入ったことから、フォアマン等は、銅精鉱が積載されている貨物倉で人身事故が発生した場合の対処法について適切な教育及び訓練を受けていなかったものと考えられる。

本件荷役会社が、フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆを含む作業員に対して銅精鉱が積載されている貨物倉で人身事故が発生した場合の対処法（貨物倉内の酸素濃度測定による安全確認、作業員が酸素欠乏状態の貨物倉へ入ることの可否、貨物倉に入る場合の装備等）について適切な教育及び訓練を行っていなかったことは、二次事故及び三次事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

3.2.8　事故発生に関する解析

3.2.1～3.2.6から、次のとおりであった。

(1)　本船は、密閉された３番貨物倉等に銅精鉱を積載し、ポートモレスビー港から佐賀関港に航行中、銅精鉱が酸化したことにより、３番貨物倉内の空気中の酸素を消費し、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になるとともに、銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤から人体に有害な臭気ガスが発生し、滞留していたものと考えられる。

(2)　本船は、佐賀関港の専用岸壁に係船中、揚荷役のために３番貨物倉のハッチカバーを開放したが、３番貨物倉の空気は外気と置換されず、酸素欠乏状

態の雰囲気が継続したものと考えられる。

(3)　フォアマンは、運転手Ｂ等の６人と本船の揚荷役に従事するために本件作業班を編成して各員に担当作業を割り振り、フォアマンが０７時５０分ごろから０８時０５分ごろの間に３番貨物倉の酸素濃度を単独で計測した可能性があると考えられるが、同人が死亡し、また、他に計測状況を知る者がいないことから、計測状況を明らかにすることはできなかった。

　また、フォアマンは、この間において、４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故後に定められた対策に基づく措置として３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板を掲示したものと考えられるが、この際、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

(4)　フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督は、本件荷役会社が定めた方法で貨物倉の酸素濃度計測を行わず、それぞれが判断した箇所及び高さで行うことが慣行になっていたものと考えられ、フォアマンは、この慣行が関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

(5)　本件製錬所及び本件荷役会社は、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握して是正し、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していれば、フォアマンは３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを把握し、一次事故等の発生を回避できた可能性があると考えられる。

　したがって、本件製錬所及び本件荷役会社が、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握せず、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、一次事故等の発生に関与した可能性があると考えられる。

(6)　運転手Ｂは、３番貨物倉付近の上甲板で待機していたが、操作員Ｄに対して貨物のにおいが強いので３番貨物倉内に入らないものの、重機車両を３番貨物倉内に入れてほしい旨の連絡を行い、操作員Ｄがクレーンで重機車両を３番貨物倉内に入れていたところ、運転手Ｂが、３番貨物倉内に入り、貨物倉底部に移動していた際、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れたものと考えられる。

(7)　運転手Ｂは、３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板が掲示されていたこと、及び１番貨物倉に他の作業員が入って重機車両の運転を始めていたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識できず、作業を行うことができると思って３番貨物倉に入ったものと考えられる。

(8)　フォアマン等は、荷役事務所で打合わせを行っていたところ、操作員Ｃ等から運転手Ｂが３番貨物倉で倒れた旨の報告を受け、自蔵式空気呼吸器を携帯した操作員Ｆと共に救助に向かい、フォアマン及び操作員Ｃが、操作員Ｆが携行した自蔵式空気呼吸器を上甲板に置いて３番貨物倉に入り、フォアマンが、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れたものと考えられる。

(9)　操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れたものと認識していたので、２人を制止しようと思いながらも、自分も救助を行わなければならないと思い、その責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、フォアマン等に続いて３番貨物倉に入った可能性があると考えられるが、３番貨物倉に入ったところ、息苦しさを感じ、操作員Ｃの戻れという合図を受け、操作員Ｃと共に上甲板に戻ったものと考えられる。

(10) フォアマン及び操作員Ｃは、操作員Ｆが携行した自蔵式空気呼吸器を本船の上甲板に置いて３番貨物倉に入ったことから、運転手Ｂを救助することの責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いたことにより、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

　また、フォアマン及び操作員Ｃは、次のことが関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

①　貨物倉は、ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいたこと。

②　４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかったこと。

(11) 操作員Ｃは、３番貨物倉に入ったが、操作員Ｆに戻れと合図を送って上甲板に戻ったこと、及び自蔵式呼吸器を携行して再び３番貨物倉に入ったことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付いたものと考えられる。

　また、操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏で倒れたものと認識しており、３番貨物倉に入って息苦しさを感じたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることの認識を強めたものと考えられる。

(12) 操作員Ｃ及び操作員Ｆは、上甲板に戻って本船の防毒マスクを装着して再び３番貨物倉に入り、操作員Ｃが、酸素欠乏状態の空気を吸入し、酸素欠乏症を発症して倒れ、貨物の表層上に落下したものと考えられる。

(13) 上記(9)～(12)の記載を総合すると、操作員Ｃは、装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思ったこと、操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思ったこと、両人は、引き続き責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いていたこと、及び一次事故発生後に救助に赴いた際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかったことから、再度、３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思い、これを装着すれば大丈夫と思ったことから、防毒マスクと酸素供給マスクの見分けができなかった可能性があると考えられる。

(14) フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、３番貨物倉に入る際に雰囲気を確認せず、また、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、防毒マスクを装着して酸素欠乏状態になっていることに気付いた３番貨物倉に再び入ったことから、本件荷役会社が、作業員に対して銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかったことは、二次事故及び三次事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

(15) フォアマン等の３人は、消防の救助隊により３番貨物倉から救助されて病院に搬送されたが、酸素欠乏症により死亡したものと考えられる。

3.2.9　本船乗組員及び代理店担当者が酸素欠乏状態を認識した状況

2.1.2(9)から、次のとおりであった。

(1)　本船乗組員

船長、一等航海士及び三等航海士は、本事故の発生を知ったとき、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れた可能性があることを認識したものと考えられる。

(2)　代理店担当者

代理店担当者は、作業員が酸素欠乏症で倒れた可能性があることを認識したものと考えられる。

３．３　その後の事故の発生を回避した状況に関する解析

2.1.2(9)及び(10)から、次のとおりであった。

(1)　船長の対応

船長は、自蔵式空気呼吸器を装着して救助に向かうことを申し出た三等航海士に対し、危険と判断して３番貨物倉へ入ることを許可しなかったものと考えられる。

また、船長は、３番貨物倉に入ろうとしていた本件荷役会社の作業員を認め、代理店担当者に入ることをとどまらせるよう指示したものと考えられる。

(2)　代理店担当者の補佐

代理店担当者は、自身も貨物倉へ入ることが危険だと考えていたので、船長の意図を直ちに理解し、救助のために３番貨物倉へ入ろうとした作業員を制止したものと考えられる。

(3)　まとめ

船長及び代理店担当者は、３番貨物倉が酸素欠乏の雰囲気であると判断し、その後の事故の発生を回避したものと考えられる。

３．４　荷役関係者又は本船乗組員が救助に向かうこと等に関する解析

2.1.4、２．８、2.13.3、及び２．１４から、次のとおりであった。

(1)　自蔵式空気呼吸器の装着訓練に関する解析

①　荷役関係者は、自蔵式空気呼吸器の十分な装着訓練を行っていなかったものと考えられる。

②　三等航海士は、自蔵式空気呼吸器を装着した経験があったが、冷静に救助活動を行える精神状態になかったものと考えられる。

(2)　求められる訓練についての解析

雰囲気が酸素欠乏状態にある貨物倉内での救助活動を行うためには、次の①～③の制約があることから、自蔵式空気呼吸器の取扱い、装着、事故現場への適切な接近方法や要救助者の短時間の救出方法などを習熟する相当な訓練が必要であるものと考えられる。

①　自蔵式空気呼吸器の空気量に制限があること。

②　本事故の発生場所が貨物倉内であり、同呼吸器装着者が要救助者に接近することが困難なこと。

③　短時間で救助する必要があり、救助に手間取ると要救助者のみならず、救助者が罹災して二次事故に至るおそれがあること。

(3)　救助に向かうことに関する解析

荷役関係者又は本船乗組員は、酸素欠乏の雰囲気にある区画から要救助者を安全に救出する訓練は受けていないこと、冷静な精神状態でなかったこと、及び要救助者に接近することが困難な場所であったことから、自蔵式空気呼吸器を装着しても、短時間で救助することは容易ではなく、救助者が罹災する可能性があったものと考えられる。

したがって、本事故のように救助活動に制約がある事態が発生した場合には、専門の救助機関に対し、直ちに救助を依頼すべきであると考えられる。

３．５　一次事故等の回避及び同種事故を将来回避するための措置に関する解析

3.5.1　一次事故等の回避

次の措置を実施していれば、一次事故等の発生を回避できたものと考えられる。

(1)　貨物倉の雰囲気の把握

銅精鉱を積載した貨物倉の雰囲気は、酸素欠乏状態、臭気ガス又は硫黄ガスの発生により、人命に危険を及ぼすおそれがあることを認識し、貨物倉の雰囲気を把握するため、酸素濃度及びこれらのガスの計測を適切に行うこと。

(2)　貨物倉の換気

貨物倉の雰囲気が安全でない場合、貨物倉の雰囲気が安全な状態（酸素濃度２０．９％の確保及び有毒ガスの除去）となるように換気すること。

(3)　貨物倉への進入

貨物倉の雰囲気が安全な状態であることが確認できるまで、貨物倉に入らないこと。

(4)　荷役に係る作業員に対する教育等

①　酸素欠乏及び酸素濃度欠乏症の危険性及びその対処方法を周知すること。

②　銅精鉱及び浮遊選鉱剤の性状及び危険性を教育すること。

③　貨物倉は、自然換気では酸素欠乏状態が解消されない場合があり、状況により強制換気の必要があることを教育すること。

(5)　作業員及び本船乗組員による救助の困難と危険性に関する教育

作業員及び本船乗組員が、酸素欠乏状態にある貨物倉内での救助活動を行うとするためには、自蔵式空気呼吸器の取扱い、装着、事故現場への適切な接近方法などを習熟する十分な訓練が必要であること。

また、迅速な救出は容易でなく、貨物倉内で一たび酸素欠乏症を発症すれば、生還が困難なことを教育すること。

3.5.2　同種事故の将来における回避

本件製錬所及び本件荷役会社は、荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、酸素欠乏及び酸素濃度欠乏症の危険性を周知し、また、その対処方法を習熟させるとともに、本事故で得た教訓を将来にわたって継承させなければならない。

4　結　論

4．1　分析の要約

4.1.1　事故発生に至る経過

事故発生に至る経過は、以下のとおりであったものと考えられる。

(1)　３番貨物倉内の雰囲気

①　航海中

本船は、ポートモレスビー港から佐賀関港に向けて航行中、積載していた銅精鉱が酸化して密閉されていた３番貨物倉内の酸素を消費し、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になるとともに、銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤から、空気より重く人体に有害な臭気ガスが発生し、滞留していた。

②　ハッチカバー開放後

３番貨物倉は、佐賀関港でハッチカバー開放後も酸素濃度が２０．９％の外気と置換されず、酸素欠乏状態が続いていた。

(2)　一次事故に至る経過

本船は、佐賀関港に係船中、３番クレーンで吊り下げた重機車両を３番貨物倉に搬入していたとき、運転手Ｂが、３番貨物倉に入って同貨物倉底部へ移動していた際、酸素欠乏状態の空気を吸入したことにより、酸素欠乏症を発症して死亡した。

(3)　二次事故に至る経過

フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、運転手Ｂを救助しようとして３番貨物倉に入ったことから、フォアマンが、酸素欠乏状態の空気を吸入したことにより、酸素欠乏症を発症して死亡した。

操作員Ｆは、フォアマン及び操作員Ｃを制止しようと思いながらも、自分も救助を行わなければならないと思い、その責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、フォアマン等に続いて３番貨物倉に入ったが、操作員Ｃと共に上甲板に戻ることができた。

(4)　三次事故に至る経過

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、運転手Ｂ及びフォアマンを救助しようとして３番貨物倉に再び入ったことから、操作員Ｃが、酸素欠乏状態の空気を吸入したことにより、酸素欠乏症を発症して死亡した。

なお、操作員Ｆは、昇降口付近まで戻ったところで本船乗組員に上甲板に引き揚げられて救助された。

4.1.2　３番貨物倉の雰囲気の把握及び同貨物倉に入った要因等

３番貨物倉の雰囲気の把握及び同貨物倉に入った要因等は、次のとおりであった。

(1)　貨物倉の雰囲気の把握

①　フォアマンは、０７時５０分ごろから０８時０５分ごろの間に３番貨物倉の酸素濃度を計測した可能性があると考えられるが、同人が死亡し、また、他に計測状況を知る者がいないことから、酸素濃度計測状況を明らかにすることはできなかった。

②　フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督は、本件荷役会社が定めた方法で貨物倉の酸素濃度計測を行わず、それぞれが判断した箇所及び高さで行うことが慣行になっていたものと考えられ、フォアマンは、この慣行が関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

③　本件製錬所及び本件荷役会社は、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握して是正し、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していれば、フォアマンは３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを把握し、一次事故等の発生を回避できた可能性があると考えられる。

したがって、本件製錬所及び本件荷役会社が、フォアマンを含む荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握せず、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、一次事故等の発生に関与した可能性があると考えられる。

(2)　運転手Ｂが３番貨物倉に入った要因等（一次事故発生時）

運転手Ｂは、３番貨物倉の昇降口に許可表示板が掲示されていたこと、及び１番貨物倉に他の作業員が入って重機車両の運転を始めていたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識できず、作業を行うことができると思って入ったものと考えられる。

(3)　フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆが３番貨物倉に入った要因等（二次事故発生時）

①　フォアマン及び操作員Ｃは、操作員Ｆが携行した自蔵式空気呼吸器を本船の上甲板に置いて３番貨物倉に入ったことから、運転手Ｂを救助することの責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かず、３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

フォアマン及び操作員Ｃは、次のことが関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

a　貨物倉は、ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいたこと。

b　４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかったこと。

② 操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏症で倒れたものと認識していたので、フォアマン及び操作員Ｃが入ることを制止しようと思いながらも、自分も救助を行わなければならないと思い、その責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠き、フォアマン等に続いて３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

(4) 操作員Ｃ及び操作員Ｆが３番貨物倉に入った要因等（三次事故発生時）

操作員Ｃは、３番貨物倉に入ったが、操作員Ｆに戻れと合図を送って上甲板に戻ったこと、及び自蔵式空気呼吸器を携行して再び３番貨物倉に入ったことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付いたものと考えられる。

また、操作員Ｆは、運転手Ｂが酸素欠乏で倒れたものと認識しており、３番貨物倉に入って息苦しさを感じたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態にあることの認識を強めたものと考えられる。

操作員Ｃ及び操作員Ｆは、上甲板に戻り、本船の防毒マスクを装着し、再度、３番貨物倉に入ったものと考えられるが、操作員Ｃは、装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思ったこと、操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思ったこと、両人は、引き続き責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いていたこと、及び一次事故発生後に救助に赴いた際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかったことから、３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

操作員Ｆは、防毒マスクを酸素供給マスクと思い、これを装着すれば大丈夫と思っていることから、防毒マスクと酸素供給マスクの見分けができなかった可能性があると考えられる。

(5) 人身事故が発生した場合の対処法

フォアマン、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、３番貨物倉に入る際に雰囲気を確認せず、また、操作員Ｃ及び操作員Ｆは、防毒マスクを装着して酸素欠乏状態になっていることに気付いた３番貨物倉に再び入ったことから、本件荷役会社が、作業員に対して銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかったことは、本事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

4.1.3　３番貨物倉の雰囲気が変化しなかった要因

佐賀関港でハッチカバーを開放した後も酸素濃度が２０．９％の外気と置換されずに酸素欠乏状態が続いていた要因については、次のとおりであったものと考えられる。

(1)　浮遊選鉱剤から発生した空気より重い臭気ガスは、貨物倉の下方に滞留し、空気との置換が行われなかった。

(2)　３番貨物倉の空気は、風速０～１．４m/s の風では自然換気による外気との置換が困難であった。

(3)　本件製錬所及び本件荷役会社は、自然換気によって酸素濃度が時間経過とともに２０．９％に上昇した過去の実績があったので、強制換気をする必要を感じなかった。

4.1.4　事故発生の要因

(1)　一次事故

荷役作業に従事する運転手Ｂは、雰囲気が酸素欠乏状態になっている３番貨物倉内に入ったことから、酸素欠乏状態の空気を吸入して酸素欠乏症を発症したものと考えられる。

運転手Ｂは、３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板が掲示されていたこと、及び１番貨物倉に他の作業員が入って重機車両の運転を始めていたことから、３番貨物倉内に入ったものと考えられる。

３番貨物倉は、積載されていた銅精鉱が、ポートモレスビー港から佐賀関港まで輸送される間に酸化して密閉されていた３番貨物倉内の空気中の酸素が消費し、雰囲気が酸素欠乏状態になったものと考えられる。

フォアマンは、０７時５０分ごろから０８時０５分ごろの間において、４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故後に定められた対策に基づく措置として３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板を掲示したものと考えられるが、この際、フォアマンは、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

フォアマンは、フォアマンを含む荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行が関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

本件製錬所及び本件荷役会社が、フォアマンを含む本件荷役会社の荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握せず、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、一次事故等の発生に関与した可能性があると考えられる。

(2)　二次事故

運転手Ｂが倒れた旨の報告を受けたフォアマンは、３番貨物倉が酸素欠乏の雰囲気になっていることに気付かなかったことから、運転手Ｂを救助しようとして操作員Ｃ及び操作員Ｆと共に３番貨物倉に入り、フォアマンが酸素の欠乏した空気を吸入して酸素欠乏症を発症したものと考えられる。

フォアマンは、運転手Ｂを救助することの責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いたことから、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

また、ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで貨物倉の酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいたこと、及び４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかったことが関与して３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかった可能性があると考えられる。

(3)　三次事故

操作員Ｃは、操作員Ｆと共にフォアマン及び運転手Ｂを救助しようとし、防毒マスクを装着して３番貨物倉に入ったことから、操作員Ｃが酸素の欠乏した空気を吸入して酸素欠乏症を発症したものと考えられる。

操作員Ｃは、装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思ったこと、引き続き責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いていたこと、及び一次事故発生後に救助に赴いた際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかったことから、防毒マスクを装着して３番貨物倉に入った可能性があると考えられる。

本件荷役会社が、作業員に対して銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかったことは、二次事故及び三次事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

４．２　その後の事故の発生を回避した状況

船長及び代理店担当者は、３番貨物倉が酸素欠乏の雰囲気にあると判断し、その後の事故の発生を回避したものと考えられる。

４．３　本事故を回避するための措置

次の措置を実施していれば、本事故の発生を回避できたものと考えられる。

(1)　貨物倉の雰囲気の把握

銅精鉱を積載した貨物倉の雰囲気は、酸素欠乏状態、臭気ガス又は硫黄ガス

の発生により、人命に危険を及ぼすおそれがあることを認識し、貨物倉の雰囲気を把握するため、酸素濃度及びこれらのガス濃度の計測を適切に行うこと。

(2)　貨物倉の換気

貨物倉の雰囲気が安全でない場合、貨物倉の雰囲気が安全な状態（酸素濃度２０．９％の確保及び有毒ガスの除去）となるように換気すること。

(3)　貨物倉への進入

貨物倉の雰囲気が安全な状態であることが確認できるまで、貨物倉に入らないこと。

(4)　荷役に係る作業員に対する教育等

①　酸素欠乏及び酸素濃度欠乏症の危険性及びその対処方法を周知すること。

②　銅精鉱及び浮遊選鉱剤の性状及び危険性を教育すること。

③　貨物倉は、自然換気では酸素欠乏状態が解消されない場合があり、状況により強制換気の必要があることを教育すること。

(5)　作業員及び本船乗組員による救助の困難と危険性に関する教育

作業員及び本船乗組員が、酸素欠乏状態にある貨物倉内の要救助者を救助するためには、自蔵式空気呼吸器の取扱い、装着、事故現場への適切な接近方法などに習熟する十分な訓練が必要であること、及び迅速な救出は容易でなく、貨物倉内で一たび酸素欠乏症を発症すれば、生還が困難なことを教育すること。

４．４　原因

一次事故は、本船が、佐賀関港の専用岸壁に係船中、３番貨物倉に積載されていた銅精鉱の揚荷役を行う際、揚荷役に従事する運転手Ｂが、雰囲気が酸素欠乏状態になっている３番貨物倉に入ったため、酸素欠乏状態の空気を吸入して酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

運転手Ｂが、雰囲気が酸素欠乏状態になっている３番貨物倉に入ったのは、３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板が掲示されていたこと、及び１番貨物倉に他の作業員が入って重機車両の運転を始めていたことによるものと考えられる。

３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていたのは、３番貨物倉に積載されていた銅精鉱が、ポートモレスビー港から佐賀関港まで輸送される間に酸化し、密閉されていた３番貨物倉内の空気中の酸素を消費したことによるものと考えられる。

３番貨物倉の昇降口に進入許可表示板が掲示されていたのは、フォアマンが、４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故後に定められた対策に基づく措置を講じたことによるものと考えられるが、この際、フォアマンは、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識していなかった可能性があると考えられる。

フォアマンが、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることを認識してい

なかったのは、フォアマンを含む荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行が関与したことによる可能性があると考えられる。

本件製錬所及び本件荷役会社が、フォアマンを含む荷役監督が酸素濃度計測を定められた方法によらずに行っていた慣行を把握せず、定められた方法で酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、一次事故等の発生に関与した可能性があると考えられる。

二次事故は、運転手Ｂが倒れた旨の報告を受けたフォアマンが、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかったため、運転手Ｂを救助しようとして操作員Ｃ及び操作員Ｆと共に３番貨物倉に入り、フォアマンが酸素欠乏状態の空気を吸入して酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

フォアマンが、３番貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になっていることに気付かなかったのは、運転手Ｂを救助することの責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いたことによる可能性があると考えられ、また、ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで貨物倉の酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいたこと、及び４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかったことが関与したことによる可能性があると考えられる。

三次事故は、操作員Ｃが、フォアマン及び運転手Ｂを救助しようとし、防毒マスクを装着して操作員Ｆと共に、再び、３番貨物倉に入ったため、酸素欠乏状態の空気を吸入して酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

操作員Ｃが、防毒マスクを装着して３番貨物倉に入ったのは、装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思ったこと、引き続き責任感と焦燥感に駆られて冷静さを欠いていたこと、及び一次事故発生後に救助に赴いた際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかったことによる可能性があると考えられる。

本件荷役会社が、作業員に対して銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかったことは、二次事故及び三次事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

5　勧　告

5.1　パンパシフィック・カッパー株式会社佐賀関製錬所に対する勧告

本事故（一次、二次及び三次事故）は、SINGAPORE GRACE が、日鉱製錬株式会社佐賀関製錬所の専用岸壁において、３番貨物倉に積載されていた硫化銅精鉱の揚荷役を行う際、揚荷役に従事する作業員が、酸素欠乏状態になっている３番貨物倉に入ったため、酸素欠乏症を発症したことにより発生し、その後、同人を救助しようとして同貨物倉に入った作業員も酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

日鉱製錬株式会社が、定められた方法で貨物倉の酸素濃度計測を行うよう指導していなかったことは、本事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、貨物倉内での酸素欠乏症の発生を防止するため、日鉱製錬株式会社の事業を引き継いだパンパシフィック・カッパー株式会社佐賀関製錬所に対し、運輸安全委員会設置法第２７条第１項の規定に基づき、以下の措置をとることを勧告する。

(1)　荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、硫化銅精鉱の性状及び危険性を教育すること。
(2)　荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、必要に応じて安全、かつ、確実に酸素濃度を計測できるよう、酸素濃度計の取扱いを教育すること。
(3)　浮遊選鉱剤のＭＳＤＳを荷送人に請求すること。
(4)　硫化銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤によっては、有害なガスを発生し、また、空気より重いそれらのガスが貨物倉に滞留し、空気との置換を妨げる危険性があることを荷役に携わる可能性がある全ての従業員に周知すること。
(5)　荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、酸素欠乏及び酸素濃度欠乏症の危険性を周知し、また、硫化銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練して習熟させること。

5.2　日照港運株式会社に対する勧告

本事故（一次、二次及び三次事故）は、SINGAPORE GRACE が、日鉱製錬株式会社佐賀関製錬所の専用岸壁において、３番貨物倉に積載されていた硫化銅精鉱の揚荷役を行う際、揚荷役に従事する作業員が、酸素欠乏状態になっている３番貨物倉に入ったため、酸素欠乏症を発症したことにより発生し、同人を救助しようとして同貨物倉に入った作業員も酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

日照港運株式会社が、定められた方法で貨物倉の酸素濃度計測を行うよう指導して

おらず、また、硫化銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかったことは、本事故の発生に関与した可能性があると考えられる。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、貨物倉内での酸素欠乏症の発生を防止するため、日照港運株式会社に対し、運輸安全委員会設置法第２７条第１項の規定に基づき、以下の措置をとることを勧告する。

(1) 荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、硫化銅精鉱の性状及び危険性を教育すること。
(2) 荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、必要に応じて酸素濃度を計測できるよう、酸素濃度計の取扱いを教育すること。
(3) 荷役に携わる可能性がある全ての従業員に対し、酸素欠乏及び酸素濃度欠乏症の危険性を周知し、また、硫化銅精鉱が積載されている貨物倉内で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練して習熟させること。

6　安全勧告

本事故（一次、二次及び三次事故）は、SINGAPORE GRACE が、日鉱製錬株式会社佐賀関製錬所の専用岸壁において、３番貨物倉に積載されていた硫化銅精鉱の揚荷役を行う際、揚荷役に従事する作業員が、酸素欠乏状態になっている３番貨物倉に入ったため、酸素欠乏症を発症したことにより発生し、同人を救助しようとして同貨物倉に入った作業員も酸素欠乏症を発症したことにより発生したものと考えられる。

３番貨物倉内の雰囲気が、ハッチカバーを開放した後も酸素濃度が外気と置換されずに酸素欠乏状態が続いていた要因として、浮遊選鉱剤から発生した空気より重い臭気ガスが貨物倉の下方に滞留し、空気との置換が行われなかったことが考えられる。

このことから、当委員会は、本事故（一次、二次及び三次事故）の調査結果を踏まえ、硫化銅精鉱に付着する浮遊選鉱剤の性状等を関係者に周知して安全な輸送及び荷役ができるよう、硫化銅精鉱の荷送人である Ok Tedi Mining Limited に対し、以下の措置をとることを勧告する。

Ok Tedi Mining Limited は、浮遊選鉱剤が硫化銅精鉱に付着している可能性がある場合、その性状や危険性を周知するため、硫化銅精鉱を積載する船舶及び受け荷主に対し、硫化銅精鉱に関する情報（ＭＳＤＳ等）に加え、浮遊選鉱剤に関する情報（ＭＳＤＳ等）を提出すること。

7　意　見

硫化銅精鉱を積載した貨物船の揚荷役を行う際、硫化銅精鉱が積載されていた貨物倉に入った作業員が酸素欠乏症を発症し、また、同人を救助しようとして同貨物倉に入った作業員も酸素欠乏症を発症して３人が死亡した。

硫化銅精鉱は、浮遊選鉱剤を用いた選鉱により銅鉱石から得られたものであり、付着した浮遊選鉱剤によっては、空気より重いガスが発生して貨物倉に滞留し、空気との置換を妨げて貨物倉の雰囲気が酸素欠乏状態になるとともに、有害なガスが発生する危険性がある。

このことから、当委員会は、本事故調査の結果を踏まえ、同種事故の再発防止のため、国土交通大臣に対して、運輸安全委員会設置法第２８条の規定に基づき、以下のとおり意見を述べる。

硫化銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤によっては、有害なガスが発生し、また、空気より重いそれらのガスが貨物倉に滞留し、空気との置換を妨げる危険性があるため、浮遊選鉱剤の使用上における注意事項を国際海事機関（ＩMO）を介して広く周知することを要請する。

8　所　見

運輸安全委員会は、本事故（一次、二次及び三次事故）の調査結果を踏まえ、同種事故の再発防止に寄与することができるよう、以下のとおり所見を述べる。

８．１　銅精鉱の荷役及び運送に携わる者に対する所見

当委員会は、銅精鉱の荷役及び運送に携わる者に対し、以下のことに一層留意するよう要請する。

(1)　閉鎖されていた区画の雰囲気を知るためには、酸素濃度及びガス濃度の検知が適正に行われなければならない。

(2)　閉鎖されていた区画の雰囲気を把握し、強制換気するなどして安全な雰囲気に変わらない限り同区画に入ってはならない。

(3)　貨物倉に入って罹災者を迅速に救出することは容易ではなく、また、一たび酸素欠乏症を発症すれば、貨物倉内から生還することが困難なことを肝銘すべきである。

８．２　銅精鉱の荷役及び運送に携わる業界等に対する所見

当委員会は、日本鉱業協会、日本船主協会、全日本海員組合、港湾貨物運送事業労働災害防止協会、全日本港湾労働組合連合会及び全日本港湾運輸労働組合同盟に対し、銅精鉱を取り扱う際に生じる危険性につき、本報告書を関係者に周知し、一層注意を喚起することを要請する。

９　参考事項

本件製錬所及び本件荷役会社は、本事故後、以下の対策を実施した。

９．１　作業方法等の変更

9.1.1　揚荷役手順の変更

(1)　ハッチカバー開放直後から１時間は貨物倉内に作業員を入らせず、クレーンによる揚荷役とした。

(2)　ハッチカバー開放から１時間後に貨物倉内の酸素濃度を計測し、２０％以上あることを確認した後、作業員が貨物倉内に入ることを許可することとした。

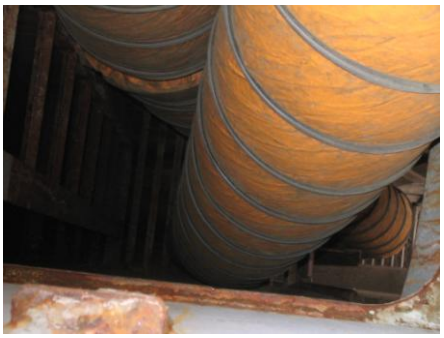
9.1.2　強制換気

(1)　ハッチカバー開放から１０分後に昇降口を開放し、送風ファンと接続したスパイラルダクト（蛇腹）を昇降口から貨物倉内に入れて連続送風することとした。

(2)　昇降口からの連続送風は１時間以上行い、使用しない昇降口からは、船内作業中は連続送風とした。

（次写真　『送風ファンと蛇腹による強制換気の状況』、『昇降口に蛇腹を入れた状況』　参照）

『送風ファンと蛇腹による強制換気の状況』



『昇降口に蛇腹を入れた状況』

9.1.3　酸素濃度測定

(1)　酸素欠乏危険作業主任者が測定し、補助者１人（酸素欠乏危険作業特別教育終了者）が記録する２名体制とした。

(2)　測定時機をハッチカバー開放から５分後及び１時間後とした。

(3)　測定箇所を以下のように変更した。

①　ハッチカバー開放から５分後の測定箇所：

船倉両舷の船首部、中央部、船尾部の上中下の計１８か所

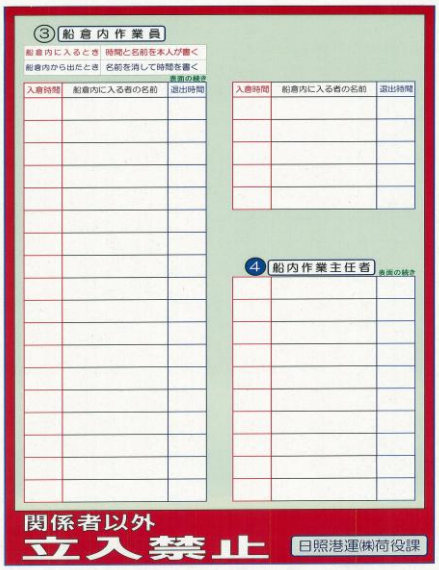
②　ハッチカバー開放から１時間後の測定箇所：

前記①の測定箇所に加え、昇降口内の５か所（最上部踊り場、タラップ（斜め梯子）中央部、最下部踊り場、貨物倉上面（コルゲートの凹部及び外方の２か所））

(4)　測定した最低酸素濃度を進入許可表示板に代わる船倉内立入許可証に記載することとした。

（次図　『船倉内立入許可証（表面）』、『船倉内立入許可証（裏面）』　参照）

『船倉内立入許可証（表面）』



『船倉内立入許可証（裏面）』

9.1.4　貨物倉への入出管理

(1)　貨物倉内に入る者は、昇降口の蓋に取り付けた船倉内立入許可証に記載した最低酸素濃度を確認し、入倉時刻と併せて署名することとした。

また、退出時も退出時刻の記入等により、退出の確認ができるようにした。

(2)　本件荷役会社の担当者は、貨物倉内の安全を確保した上で入ることを許可することとした。

9.1.5　小型携帯型酸素濃度計

貨物倉内に入る全ての作業員は、小型携帯型酸素濃度計を携行することとした。

9.1.6　貨物倉内作業の監視

貨物倉内で作業が行われる間、各貨物倉に監視人を１人ずつ配置するなどの対応とした。

9.1.7　安全衛生保護具の補充

従来保持していた一式に加え自蔵式空気呼吸器を三式購入した。

また、荷役中、緊急避難用酸素マスク（１０分間有効）を貨物倉内に常備した。

9.1.8　作業標準書

上記 9.1.1～9.1.7 の作業方法の変更に伴う作業標準書の改訂を行った。

９．２　管理及び監督

(1)　荷役課管理要務者（監督者）は、荷役作業が手順どおり実施されていることを荷役現場で確認し、必要な指示及び指導を実施することとした。

(2)　本件荷役会社の経営層（経営陣と同義。回答書のままの記載）は、上記実施状況を定期的に確認することとした。

９．３　教育等

(1)　酸素欠乏教育資料の改訂

酸素欠乏の危険性を分かりやすく明記し、自蔵式空気呼吸器の日常点検事項、異常事態発生時の退避等について追記することとした。

(2)　教育

新規作業員（初任者）に対する導入教育のほか、経験者を含めた作業員に対しても繰り返し教育を年間教育に盛り込むこととした。

(3)　酸欠のおそれがある貨物倉内に救助者が決して入ってはならないこと、専門

の救助機関の出動を直ちに要請することなどを定めた“２次災害防止のための救護マニュアル”を策定し、これを社員に教育した。

(4)　昇降口が、甲板室、クレーン室等の密閉区画に装備される船舶では、当該密閉区画進入時に低酸素空気を吸入するおそれがあることを教育した。

９．４ 将来における重大事故の回避

(1)　過去の重大事故に学ぶ活動

全ての本件製錬所グループの構成員が過去発生した重大災害を学習する日として毎年６月１３日を「安全を考える日」とした。

(2)　ＯＨＳマネジメントシステムの見直し

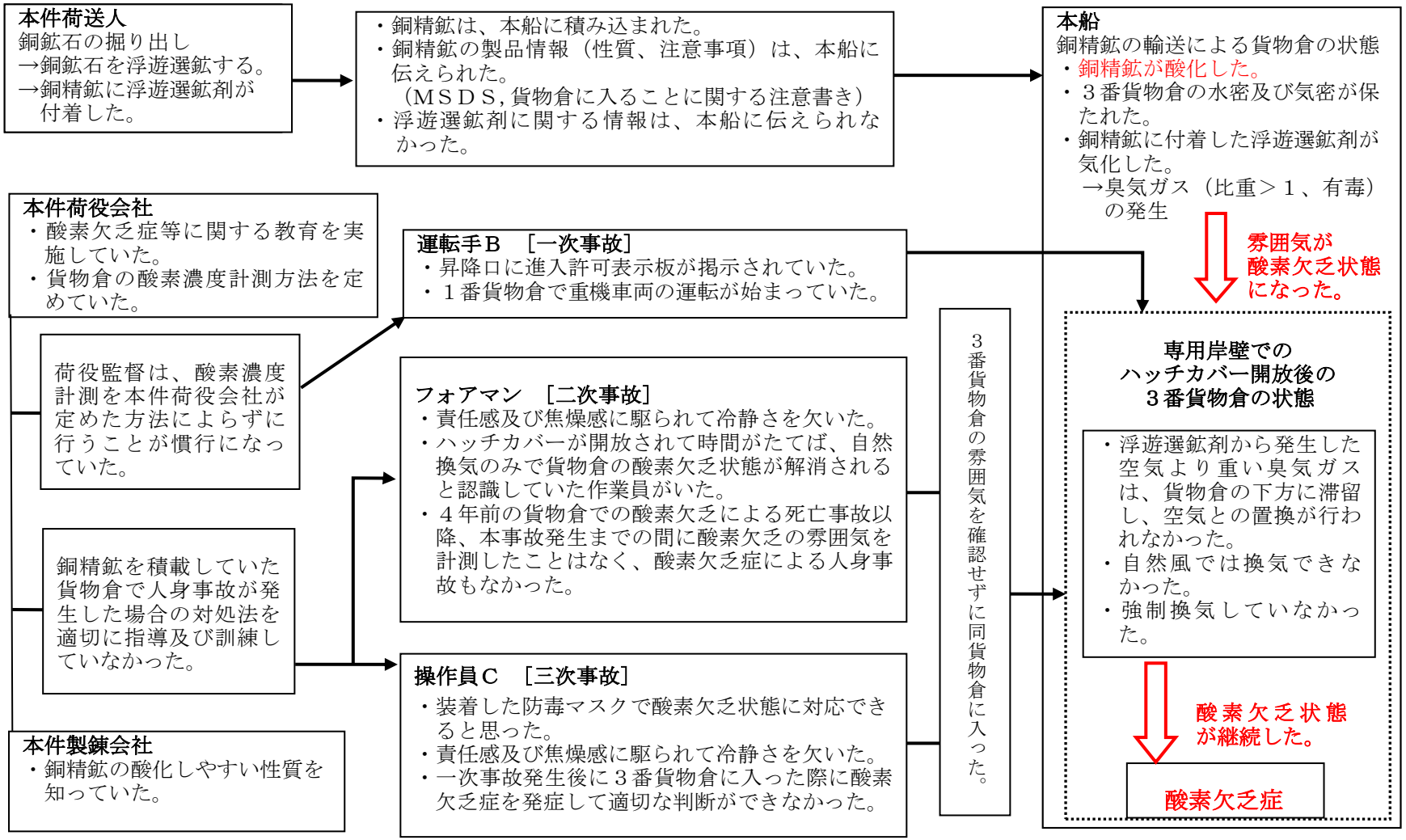
全ての災害要因が抽出及び評価できるよう、災害調査表に発生した災害の重篤度に加え、リスクを併記するように改め、製錬所内のあらゆる作業に於ける災害リスクの一層の低減を図ることとした。

(3)　管理監督者の現場指導力の向上教育

①　平成２１年１０月から、労働安全衛生コンサルタントによる労働安全衛生法令に基づいた現場の巡回指導を実施することとした。

②　退職者（熟練者）による現場巡回指導を実施して管理監督者の危険に対する感性を向上させる教育に取り組むこととした。

付図　要因相関図


本件荷送人
銅鉱石の掘り出し
→銅鉱石を浮遊選鉱する。
→銅精鉱に浮遊選鉱剤が付着した。
・銅精鉱は、本船に積み込まれた。
・銅精鉱の製品情報（性質、注意事項）は、本船に伝えられた。
（ＭＳＤＳ，貨物倉に入ることに関する注意書き）
・浮遊選鉱剤に関する情報は、本船に伝えられなかった。
本船
銅精鉱の輸送による貨物倉の状態
・銅精鉱が酸化した。
・３番貨物倉の水密及び気密が保たれた。
・銅精鉱に付着した浮遊選鉱剤が気化した。
→臭気ガス（比重＞１、有毒）の発生
雰囲気が酸素欠乏状態になった。
本件荷役会社
・酸素欠乏症等に関する教育を実施していた。
・貨物倉の酸素濃度計測方法を定めていた。
運転手Ｂ　［一次事故］
・昇降口に進入許可表示板が掲示されていた。
・１番貨物倉で重機車両の運転が始まっていた。
荷役監督は、酸素濃度計測を本件荷役会社が定めた方法によらずに行うことが慣行になっていた。
フォアマン　［二次事故］
・責任感及び焦燥感に駆られて冷静さを欠いた。
・ハッチカバーが開放されて時間がたてば、自然換気のみで貨物倉の酸素欠乏状態が解消されると認識していた作業員がいた。
・４年前の貨物倉での酸素欠乏による死亡事故以降、本事故発生までの間に酸素欠乏の雰囲気を計測したことはなく、酸素欠乏症による人身事故もなかった。
銅精鉱を積載していた貨物倉で人身事故が発生した場合の対処法を適切に指導及び訓練していなかった。
操作員Ｃ　［三次事故］
・装着した防毒マスクで酸素欠乏状態に対応できると思った。
・責任感及び焦燥感に駆られて冷静さを欠いた。
・一次事故発生後に３番貨物倉に入った際に酸素欠乏症を発症して適切な判断ができなかった。
３番貨物倉の雰囲気を確認せずに同貨物倉に入った。
専用岸壁でのハッチカバー開放後の３番貨物倉の状態
・浮遊選鉱剤から発生した空気より重い臭気ガスは、貨物倉の下方に滞留し、空気との置換が行われなかった。
・自然風では換気できなかった。
・強制換気していなかった。
酸素欠乏状態が継続した。
酸素欠乏症
本件製錬会社
・銅精鉱の酸化しやすい性質を知っていた。

`

別添　銅精鉱分析調査資料　抜粋

調 査 報 告 書

1. 件名

鉱石運搬船に積載していた輸入銅精鉱に係る解析調査

2. 目的

銅精鉱の性状及び異なる条件下（温度・水分・浮遊選鉱剤等）での酸素濃度変動調査

試料A　：　銅精鉱(以下、試料Aという。)

試料B　：　銅精鉱(以下、試料Bという。)

試料C　：　銅精鉱(以下、試料Cという。)

3. 調査内容

(1) 酸素消費速度測定

① 試料Aの空隙率(密閉容器に試料を入れたときの空間の割合。以下、空隙という。)70％での各環境温度(40℃、60℃、80℃)による酸素消費速度を測定(4-1-1.参照)

② 試料Aの空隙30％での各環境温度(40℃、60℃、80℃)による酸素消費速度を測定(4-1-2.参照)

③ 試料Aの空隙30％及び70％における酸素濃度測定結果を比較(4-1-3.参照)

④ 試料Aの水分値を15％に調整し、空隙70％で各環境温度(40℃、60℃、80℃)における酸素消費速度を測定(4-1-4.参照)

⑤ 試料Aの空隙70％における水分無添加及び添加時の酸素消費速度を比較(4-1-5.参照)

⑥ 銅精鉱の種類別（試料A、B、C）に空隙70％で各環境温度（40℃、60℃、80℃）における酸素消費速度を測定(4-1-6.参照)

(2) 各種浮遊選鉱剤による影響調査

W剤　試料Aで使用されている。

X剤　試料A で使用されている。

Y剤

Z剤

① 試料Aに各種浮遊選鉱剤を添加した後の酸素濃度を測定(4-2-1.参照)

② 試料Aに浮遊選鉱剤を添加せずに酸素濃度を測定(4-2-2.参照)

③ 各種浮遊選鉱剤について酸素濃度を測定(4-2-3.参照)

④ 試料Aを洗浄後に各種浮遊選鉱剤を添加して酸素濃度を測定(4-2-4-2.参照)

⑤ 発生臭気ガス成分の測定(4-2-5.参照)

(3) 試料A運搬船船倉内の臭気ガス成分の定性分析(4-3.参照)

佐賀関港に入港中の貨物船の貨物倉から臭気ガスを、また、ハッチカバー(貨物倉側の面)に付着した結露水をそれぞれ採取した。採取時期は、いずれもハッチカバー開放とほぼ同時であった。

翌日、１番貨物倉から採取した揚荷直後の試料Ａの貨物温度は、42.6℃であった。

なお、当時、大分市の外気温は、10.7～13.3℃だった。

(4) 試料Ａ運搬船ハッチカバーに付着した結露水のpH測定、ICP発光分光分析装置及びイオンクロマトグラフによる定性分析(4-3-2.参照)

(5) 銅精鉱の種類別Ｘ線回折測定

① 銅精鉱の種類別（試料Ａ、Ｂ、Ｃ)のＸ線回折測定(4-4-1.参照)

② 試料Ａの加熱（100℃、200℃、300℃）後のＸ線回折測定(4-4-2.参照)

(6) 補足試験

銅精鉱の種類別洗浄試験(4-5.参照)

目次

頁

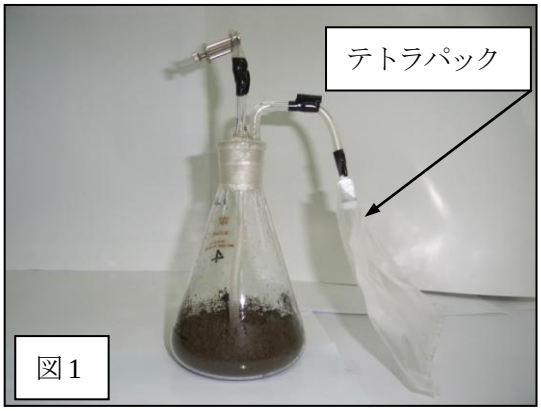
1. 件名、2. 目的、3. 調査内容…… 1
目次…… 2
4. 調査方法及び測定結果…… 3
4-1. 酸素消費速度測定 …… 3
4-1-1. 試料Ａについて、空隙70％で酸素濃度を測定…… 3
4-1-2. 試料Ａについて、空隙30％で酸素濃度を測定…… 4
4-1-3. 試料Ａの空隙30％及び70％における酸素濃度測定結果比較…… 4
4-1-4. 試料Ａに水分を添加し、空隙70 %による酸素濃度を測定…… 5
4-1-5. 空隙70 %における試料Ａの水分添加有/無の比較…… 5
4-1-6. 銅精鉱の種類別(試料Ｂ及び試料Ｃ)に空隙70 %での各環境温度(40℃、60℃、80℃)による酸素消費速度測定 …… 6
4-1-6-1. 銅精鉱（試料Ｂ)を4-1-1の同様な測定方法で空隙70 %になるように試料Ｂを入れ酸素濃度測定 …… 6
4-1-6-2. 銅精鉱（試料Ｃ)を4-1-1の同様な測定方法で空隙70 %になるように試料Ｃを入れ酸素濃度測定 …… 6
4-1-6-3. 銅精鉱の種類別(試料Ａ、試料Ｂ及び試料Ｃ)の酸素消費速度比較…… 6
4-1-6-3-1. 40℃における銅精鉱の種類別(試料Ａ、試料Ｂ及び試料Ｃ)の酸素消費速度比較 …… 6
4-1-6-3-2. 60℃における銅精鉱の種類別(試料Ａ、試料Ｂ及び試料Ｃ)の酸素消費速度比較 …… 7
4-1-6-3-3. 80℃における銅精鉱の種類別(試料Ａ、試料Ｂ及び試料Ｃ)の酸素消費速度比較 …… 7
4-2. 各種浮遊選鉱剤による影響調査…… 8
4-2-1. 各種浮遊選鉱剤を添加したのちの酸素濃度測定…… 8
4-2-2. 試料Ａに浮遊選鉱剤を添加しない状態での酸素濃度測定…… 8
4-2-3. 各浮遊選鉱剤の酸素濃度測定…… 8
4-2-4. 試料Ａを洗浄後に各種浮遊選鉱剤を添加して酸素濃度を測定…… 9
4-2-4-1. 試料Ａの洗浄方法…… 9
4-2-4-2. 浮遊選鉱剤の種類別添加後酸素測定…… 10
4-2-5. 発生臭気ガスの測定…… 11
4-2-5-1. 浮遊選鉱剤の種類別添加後臭気ガス測定…… 11
4-2-5-2. 各種浮遊選鉱剤の種類別臭気ガス測定…… 11
4-3. 貨物運搬船におけるサンプリング及び定性分析結果…… 13
4-3-1. 臭気ガス成分の定性分析…… 13
4-3-2. 結露水の分析…… 13
4-3-2-1. 結露水のpH測定結果…… 14
4-3-2-2. 結露水のイオンクロマトグラフ及びICP定性分析測定結果…… 14
4-4. 銅精鉱の種類別Ｘ線回折測定結果…… 15
4-4-1. 試料Ａ、試料Ｂ及び試料ＣのＸ線回折測定結果…… 15
4-4-2. 加熱試験後のＸ線回折測定結果…… 17
4-5. 補足試験
銅精鉱の種類別純水洗浄試験…… 19
5. まとめ…… 20

4. 調査方法及び測定結果

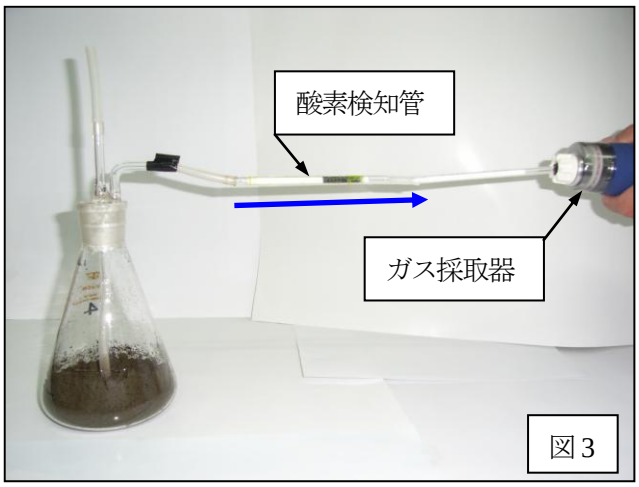
4-1. 酸素消費速度測定

4-1-1. 試料Aについて、空隙 70 %で酸素濃度を測定

密閉できる三角フラスコ容器(約 650ml)で空隙 70 %(約 195ml)になるように試料A を入れ、各環境温度条件(40℃、60℃、80℃)で酸素濃度を測定した(*注)1(図 1 参照)。測定時にテトラパックを取り外し、ゴムチューブに酸素検知管とガス採取器を取り付け、酸素濃度の測定を行った(図 2 & 3 参照)。



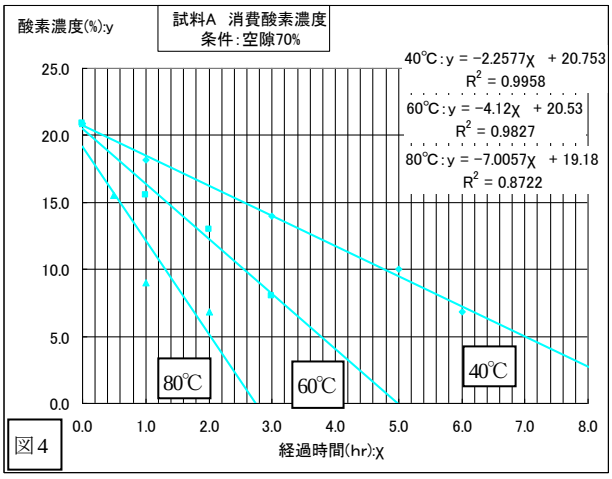
酸素検知管：北川式酸素検知管(SC 型)
ガス採取器：北川式　AP-20



測定結果を表 1 及び図 4 に示した。

表 1　　空隙 70 %による酸素濃度測定表

経過時間(hr)	40℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9
0.5			15.5
1.0	18.2	15.5	9.0
2.0		13.0	6.8
3.0	14.0	8.0	
5.0	10.0		
6.0	6.8		



(*注)1　経過時間 0.0 hr では、酸素濃度測定＝20.9%とした。

4-1-2. 試料 A について、空隙 30 %で酸素濃度を測定

空隙 30 %(約 455ml)になるように試料 A を三角フラスコ容器(約 650ml)に入れ、4-1-1 と同様な測定方法で酸素濃度測定を行った。測定結果を表 2 及び図 5 に示した。

表 2　　空隙 30 %による酸素濃度測定表

経過時間(hr)	40℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9
1.0		14.5	7.5
2.0	16.0		4.0
3.0		5.0	
3.5		4.5	
4.0	13.5		
10.0	<3		

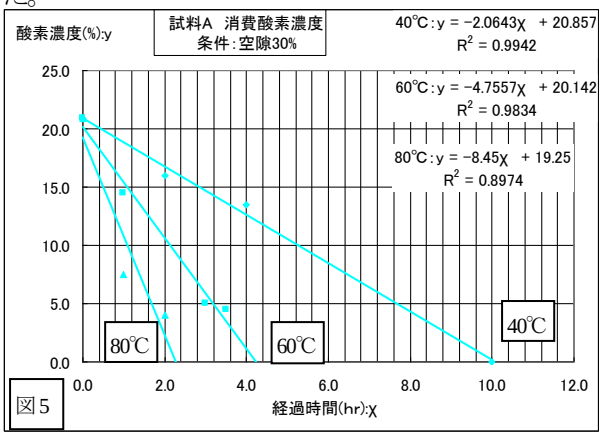


図 5

4-1-3. 試料 A の空隙 30 %及び 70 %における酸素濃度測定結果比較(表 3 及び図 6 参照)

表 3　　空隙 30 %及び 70 %における酸素濃度測定比較表

経過時間(hr)	30%40℃酸素濃度(%)	70%40℃酸素濃度(%)	30%60℃酸素濃度(%)	70%60℃酸素濃度(%)	30%80℃酸素濃度(%)	70%80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
0.5						15.5
1.0		18.2	14.5	15.5	7.5	9.0
2.0	16.0			13.0	4.0	6.8
3.0		14.0	5.0	8.0		
3.5			4.5			
4.0	13.5					
5.0		10.0				
6.0		6.8				
10.0	<3					

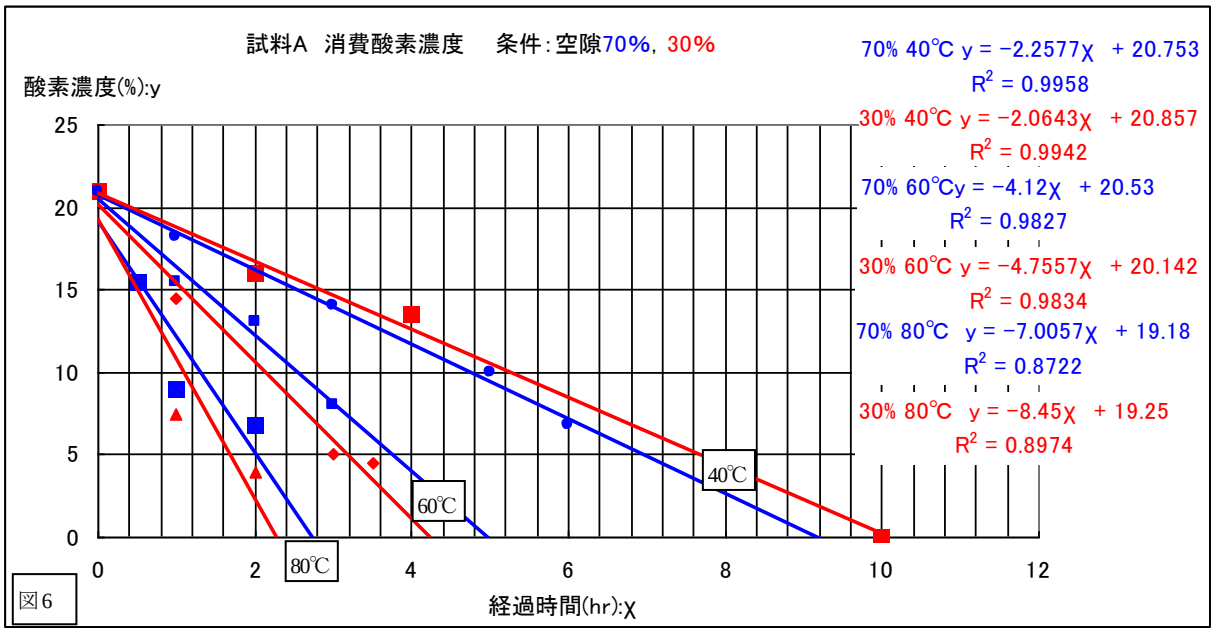


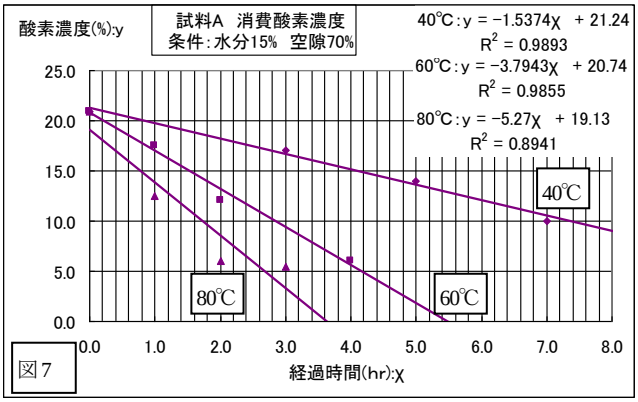
図 6

4-1-4. 試料 A に水分を添加し、空隙 70 %による酸素濃度を測定

試料 A の水分が 15 %相当になるように水分を添加し、4-1-2 と同様の測定方法で水分調整した試料を入れ酸素濃度測定を行った。測定結果を表 4 及び図 7 に示した。

表 4 水分 15 %相当　空隙 70 %による酸素濃度測定表

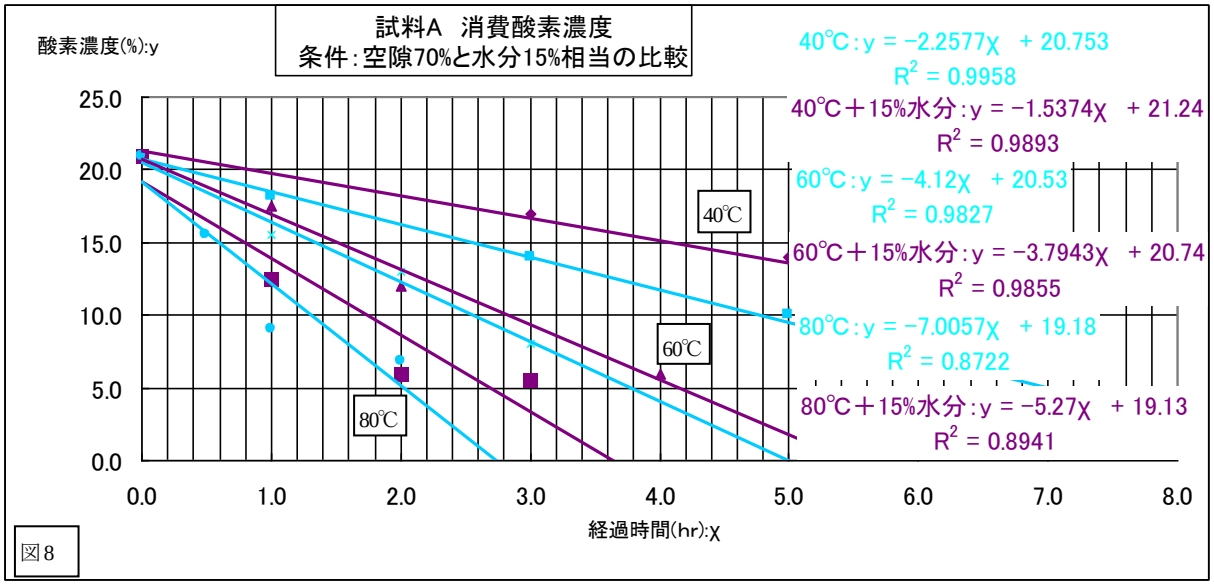
経過時間(hr)	40℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9
1.0		17.5	12.5
2.0		12.0	6.0
3.0	17.0		5.5
4.0		6.0	
5.0	14.0		
7.0	10.0		



4-1-5. 空隙 70 %における試料 A の水分添加有/無の比較(表 5 及び図 8 参照)

表 5　　空隙 70 %における試料 A に水分添加有/無の比較表

経過時間(hr)	水分15% 40℃酸素濃度(%)	40℃酸素濃度(%)	水分15% 60℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	水分15% 80℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
0.5						15.5
1.0		18.2	17.5	15.5	12.5	9.0
2.0			12.0	13.0	6.0	6.8
3.0	17.0	14.0		8.0	5.5	
4.0			6.0			
5.0	14.0	10.0				
6.0		6.8				
7.0	10.0					



(1) 温度、空隙の差に関わらず時間の経過に伴って密閉容器中の酸素濃度が低下した。経過時間と酸素消費量は、ほぼ比例していると考えられる。

(2) 空隙 30 %と空隙 70 %の測定結果の違いについては、環境温度 60℃と 80℃の場合、空隙 30 %の方が酸素消費速度はやや速いことが確認された。

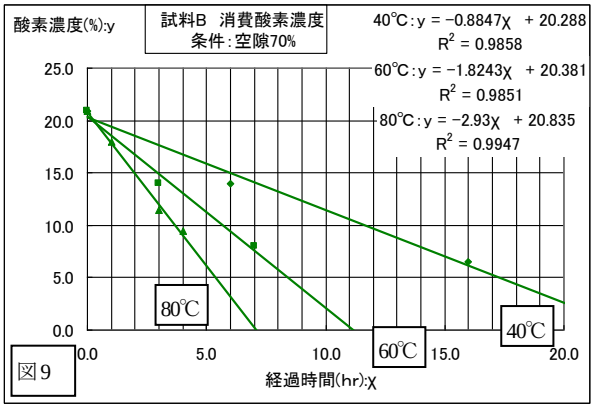
(3) 空隙 30 %と空隙 70 %に水分 15%相当添加したものの違いについては、各温度共に水分を添加した方が酸素消費速度は遅いことが確認された。

4-1-6. 銅精鉱の種類別(試料 B 及び試料 C)に空隙 70 %での各環境温度(40℃、60℃、80℃)による酸素消費速度測定

4-1-6-1. 銅精鉱 (試料 B)を 4-1-1 の同様な測定方法で空隙 70 %になるように試料 B を入れ酸素濃度測定を行った。測定結果を表 6 及び図 9 参照に示した。

表 6 銅精鉱 (試料 B)による酸素濃度測定表

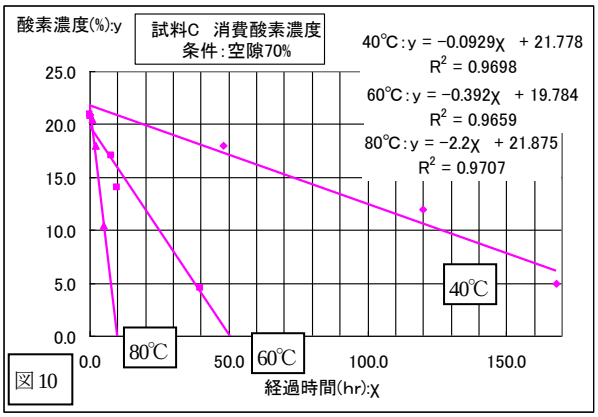
経過時間(hr)	40℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9
1.0			18.0
2.0			
3.0		14.0	11.5
4.0			9.5
6.0	14.0		
7.0		8.0	
16.0	6.5		



4-1-6-2. 銅精鉱 (試料 C)を 4-1-1 の同様な測定方法で空隙 70 %になるように試料 C を入れ酸素濃度測定を行った。測定結果を表 7 及び図 10 に示した。

表 7 銅精鉱 (試料 C)による酸素濃度測定

経過時間(hr)	40℃酸素濃度(%)	60℃酸素濃度(%)	80℃酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9
1.0			20.5
2.0			18.0
5.0			10.5
8.0		17.0	
10.0		14.0	
40.0		4.5	
48.0	18.0		
120.0	12.0		
168.0	5.0		

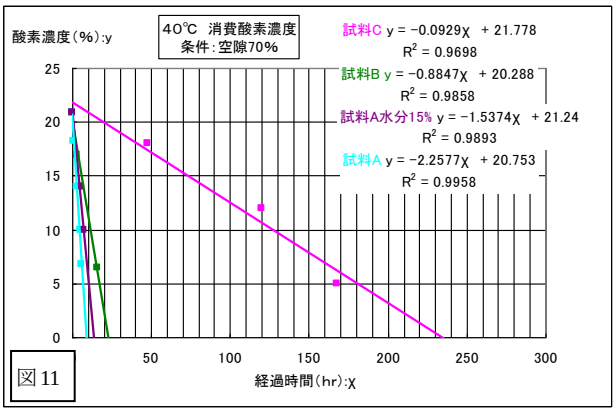


4-1-6-3. 銅精鉱の種類別(試料 A、試料 B 及び試料 C)の酸素消費速度比較

4-1-6-3-1. 40℃における銅精鉱の種類別(試料 A、試料 B 及び試料 C)の酸素消費速度比較 (表 8 及び図 11 参照)

表 8 40℃による種類別酸素消費速度測定表

経過時間 (hr)	試料C 酸素濃度 (%)	試料B 酸素濃度 (%)	試料A 酸素濃度 (%)	試料A 水分15% 酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9	20.9
1.0			18.2	
3.0			14.0	17.0
5.0			10.0	14.0
6.0		14.0	6.8	
7.0				10.0
16.0		6.5		
48.0	18.0			
120.0	12.0			
168.0	5.0			



4-1-6-3-2. 60℃における銅精鉱の種類別(試料A、試料B及び試料C)の酸素消費速度比較(表9及び図12参照)

表9　60℃による種類別酸素消費速度測定表

経過時間 (hr)	試料C 酸素濃度 (%)	試料B 酸素濃度 (%)	試料A 酸素濃度 (%)	試料A　水分15% 酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9	20.9
1.0			15.5	17.5
2.0			13.0	12.0
3.0		14.0	8.0	
4.0				6.0
7.0		8.0		
8.0	17.0			
10.0	14.0			
40.0	4.5			

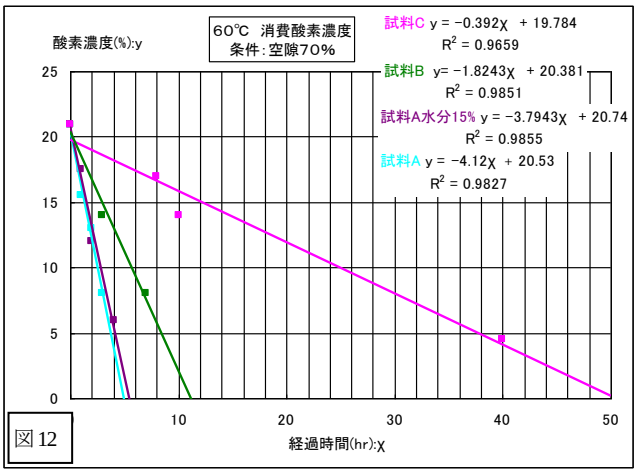


図12

4-1-6-3-3. 80℃における銅精鉱の種類別(試料A、試料B及び試料C)の酸素消費速度比較(表10及び図13参照)

表10　80℃による種類別酸素消費速度測定表

経過時間 (hr)	試料C 酸素濃度 (%)	試料B　酸素濃度 (%)	試料A 酸素濃度 (%)	試料A　水分15% 酸素濃度(%)
0.0	20.9	20.9	20.9	20.9
0.5			15.5	
1.0	20.5	18.0	9.0	12.5
2.0	18.0		6.8	6.0
3.0		11.5		5.5
4.0		9.5		
5.0	10.5			

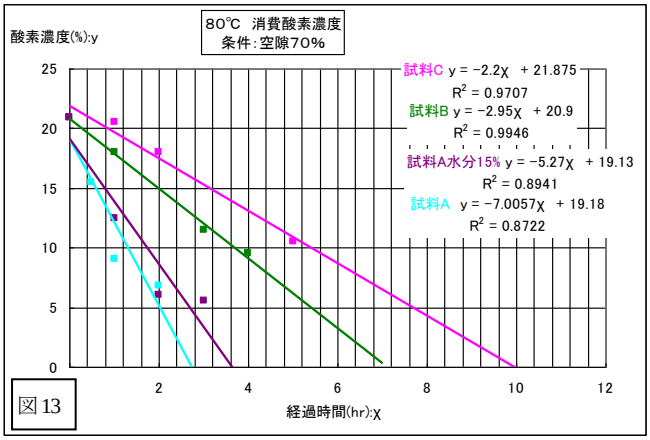


図13

(1) 3種の試料のうち、40、60、80℃の何れの環境温度においても試料Aの酸素消費速度が速く、密封後6時間以内に空隙の酸素濃度が20.9%から10%未満に減少した。

(2) 試料Cについては、40℃の酸素消費測定では特別に速度が遅いことが確認された。60℃の酸素消費測定でも開きが確認された。

(3) 試料Bについては、40、60、80℃の何れの環境温度においても試料Aと試料Cの間の速度であった。

4-2. 各種浮遊選鉱剤による影響調査

4-2-1. 各種浮遊選鉱剤を添加したのちの酸素濃度測定

4 種類の浮遊選鉱剤を 105℃で乾燥した試料 A に別々に 5 %相当重量加え、空隙が 70 %(約 264ml)になるように試料を円柱ガラス容器(約 880ml) (図 14 参照)に入れて密封し、40℃の環境で 24 時間放置したのち、酸素濃度を測定した。

測定箇所は、上層及び下層の 2 箇所で同時に酸素濃度測定を行った。使用器材(図 15 参照)については、下記に示した。

使用器材

ガス採取器:北川式 AP-20

酸素検知管:北川式酸素検知管(SC 型)

浮遊選鉱剤の種類

① W 剤 試料 A で使用されている。

② X 剤 試料 A で使用されている。

③ Y 剤

④ Z 剤

測定結果を表 11 に示した。

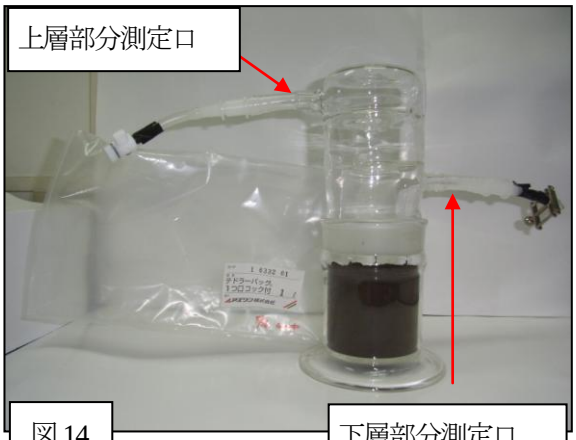


図 14

図 15

表 11 浮遊選鉱剤添加後の種類別酸素測定結果

測定箇所	浮遊選鉱剤			
	W 剤	X 剤	Y 剤	Z 剤
上層 酸素濃度	13.5 %	10.1 %	17.0 %	13.5 %
下層 酸素濃度	11.8 %	6.3 %	15.5 %	12.0 %

4-2-2. 試料 A に浮遊選鉱剤を添加しない状態での酸素濃度測定

乾燥前と乾燥後の試料 A について、浮遊選鉱剤を添加せずに 4-2-1 と同条件で酸素濃度測定を行った。測定結果を表 12 に示した。

表 12 浮遊選鉱剤を添加しない状態での酸素濃度測定結果

測定箇所	105℃で乾燥前の試料	105℃で乾燥後の試料
上層 酸素濃度	5.4 %	16.3 %
下層 酸素濃度	3 % 以下	16.0 %

4-2-3. 各種浮遊選鉱剤の酸素濃度測定

密閉できる三角フラスコ容器(約 650ml)に空隙 30 %(約 455ml)になるように各浮遊選鉱剤だけを入れ、40℃の環境で 24 時間放置した後に酸素濃度測定を行った。

測定時にテトラパックを取り外し、ゴムチューブに検知管を取り付け、酸素濃度測定を行った。(図 16 参照)

各浮遊選鉱剤だけの酸素測定結果を表 13 に示した。

図16

表 13　各浮遊選鉱剤のみの酸素濃度測定結果

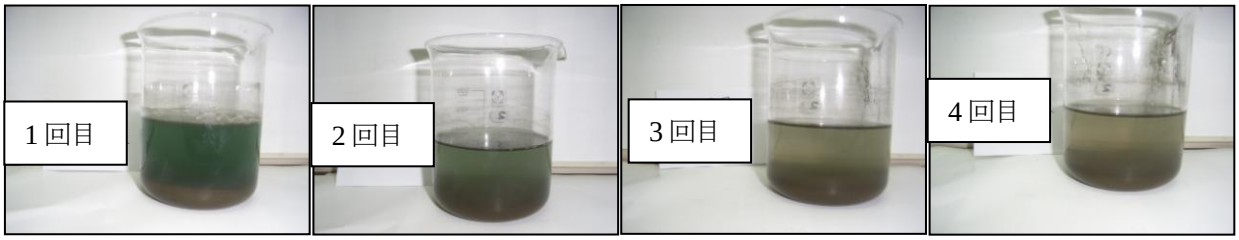
	浮遊選鉱剤			
	W 剤	X 剤	Y 剤	Z 剤
酸素濃度	14.7％	18.7％	20.8％	3.0％

4-2-4. 試料 A を洗浄後に各種浮遊選鉱剤を添加して酸素濃度を測定

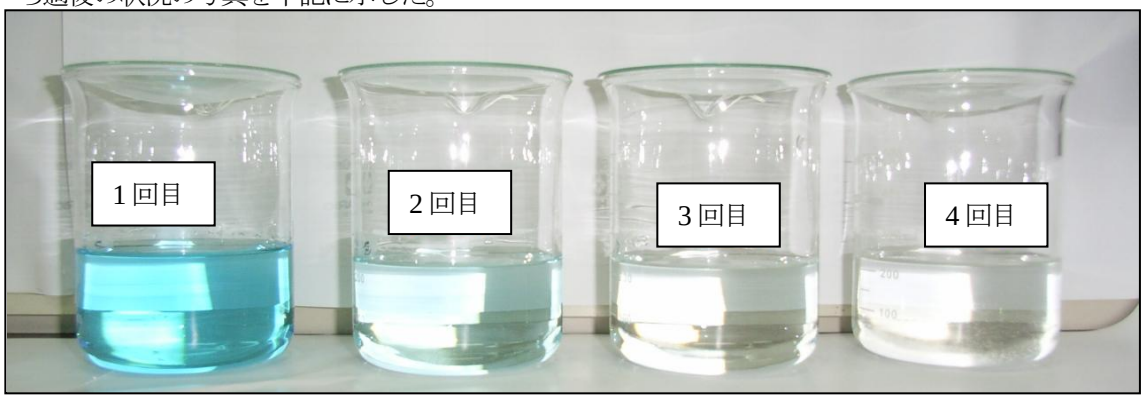
4-2-4-1. 試料 A の洗浄方法

ビーカーに試料 A を 100g 入れて約 300ml の純水を加え、回転子を入れて 5 分間攪拌したのち、30 分間放置する。その後にろ紙で上澄み液をろ過する。さらに、残渣に約 300ml の純水を加え、以降同様の操作を計 4 回行った。

ろ過前の状況の写真を下記に示した。



ろ過後の状況の写真を下記に示した。



ろ液の ICP 定性結果及び pH を表 14 に示した。

表 14　　ろ液の定性分析結果及び pH　　単位：%(pH を除く)

洗浄回数	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	SO_4	Zn	**pH**
1 回目洗浄液	0.06	0.42	<0.01	0.01	<0.01	0.77	0.07	3.6
2 回目洗浄液	0.05	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	0.31	0.01	3.8
3 回目洗浄液	0.05	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.18	<0.01	4.0
4 回目洗浄液	0.03	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	<0.01	4.2

➢ 試料 A は純水による洗浄を繰り返すことにより、Cu(銅)の溶出が減少したことから洗浄効果が認められたと推測される。

4-2-4-2. 浮遊選鉱剤の種類別添加後酸素測定

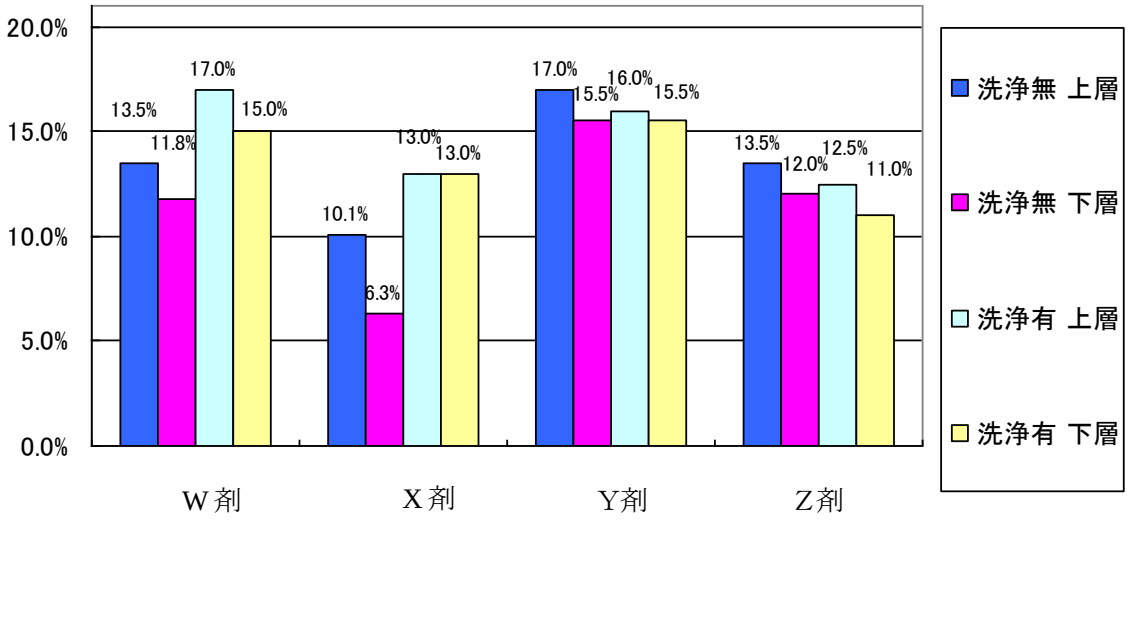
4-2-1 と同様の方法で上層及び下層の 2 箇所で測定を行った。その測定結果を洗浄有無の結果とあわせて表 15 に示す。

表 15　　純水洗浄有無の試料に種類別の浮遊選鉱剤を添加後の酸素測定結果

測定箇所	浮遊選鉱剤							
	W 剤		X 剤		Y 剤		Z 剤	
	洗浄無	洗浄有	洗浄無	洗浄有	洗浄無	洗浄有	洗浄無	洗浄有
上層 酸素濃度	13.5％	17.0％	10.1％	13.0％	17.0％	16.0％	13.5％	12.5％
下層 酸素濃度	11.8％	15.0％	6.3％	13.0％	15.5％	15.5％	12.0％	11.0％

各種浮遊選鉱剤添加による酸素濃度 (試料 A の純水洗浄有/無)の比較を表 16 に示す。

表16　浮遊選鉱剤添加による酸素濃度測定(試料A洗浄有無)



(1) W 剤と X 剤については、純水洗浄無と洗浄有の酸素測定結果は、純水洗浄無の方は密閉容器中の酸素濃度が低い傾向であった。
(2) Y 剤について、酸素測定結果は他の浮遊選鉱剤と比べると高い傾向であった。
(3) 上層及び下層の酸素測定結果は、下層の方が低い傾向であった。
(4) 浮遊選鉱剤の違いにより、酸素測定結果が異なることが確認された。

4-2-5. 発生臭気ガスの測定

4-2-5-1. 浮遊選鉱剤の種類別添加後臭気ガス測定

試料 A を 105℃で乾燥させた後、試料 A を 4 種類の浮遊選鉱剤それぞれに 5 %相当添加し、円柱ガラス容器(約 880ml)に空隙 70 %(約 195ml)になるように入れ、40℃の温度環境で 24 時間静置したのちに臭気ガス測定を行った。

測定箇所は、下層部分(図 17 参照)の発生臭気ガス測定を行った。

ガス成分の測定は、固相マイクロ抽出(*注)2-ガスクロマトグラフ質量分析を用いた。固相抽出には、無極性の吸着固相ファイバーを用いた。

図 17

検出成分は、GC-MS ライブラリーデータベース（Wiley）に基づいて定性したものであり、標準物質によって確認したものではない。　検出成分を表 17 示した。

表 17　浮遊選鉱剤の種類別添加後臭気ガス測定結果

	浮遊選鉱剤			
	W 剤	X 剤	Y 剤	Z 剤
臭気成分	・2-メチル-2-ペンテナール ・2-エチル 2-2-ヘキサナール ・2-プロピル-2-ヘプテナール ・酪酸ブチル ・酪酸アミル ・酪酸-2-エチルヘキシル ・1-ブタノール ・2-エチルヘキサノール ・2-メチルペンチルブチレート ・定性不能；約 30%	・トルエン ・エチルベンゼン ・キシレン ・キシレン（異性体） ・イソブタノール ・1-ブタノール ・ブチルエーテル ・ジイソブチル ジサルファイド ・定性不能；約 70%	・プロピレングリコールモノメチルエーテル ・ジプロピレングリコールモノメチルエーテル ・トリプロピレングリコールモノメチルエーテル ・テトラプロピレングリコールモノメチルエーテル ・メトキシアセトン ・4-オキサ-6-ヘプテン-2-オール	・α-ピネン ・カンフェン ・シネオール ・α-テルピネン ・シメン ・dl-リモネン ・シネオール ・γ-テルピネン ・テルピノレン ・1-テルピネオール ・β-テルピネオール ・(-)-ボルネオール ・4-テルピネオール ・α-テルピネオール ・γ-テルピネオール ・イソロンギホレン ・4-イソプロペニルトルエン ・フェネチルアルコール

■アルデヒド類　■カルボン酸類　■アルコール類　■エステル類　■芳香族類
■エーテル類　■グリコールエーテル類　■ケトン類　■テルペン類　■その他

4-2-5-2. 各種浮遊選鉱剤の種類別臭気ガス測定

4-2-5-1 と同様の方法で浮遊選鉱剤だけを円柱ガラス容器に空隙 70 %になるように入れ(図 18 参照)、温度 40℃の環境で 24 時間静置したのち、臭気ガス測定を行った。検出成分を表 18 に示した。

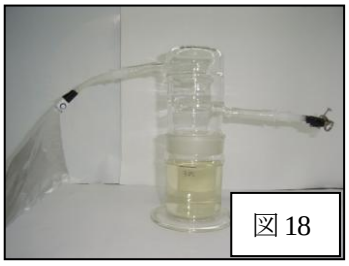


図 18

(*注)2 サンプル容器内の揮発成分を固相マイクロ抽出法（40℃、20 分）により捕集した。

表 18　　各種浮遊選鉱剤の種類別臭気ガス測定結果

	浮遊選鉱剤			
	W 剤	X 剤	Y 剤	Z 剤
臭気成分	・ ブチルアルデヒドジブチルアセタール ・ 2-エチル 2-ヘキサナール ・ 2-プロピル-2-ヘプテナール ・ 酪酸ブチル ・ 酪酸アミル ・ 酪酸-2-エチルヘキシル ・ 1-ブタノール ・ 2-エチルヘキサノール ・ cs-1-ブテン,トキシ ・ 定性不能；約 15%	・ トルエン ・ キシレン ・ イソブタノール ・ ブチルエーテル ・ イソブチルエーテル ・ 定性不能；約 40%	・ プロピレングリコールモノメチルエーテル ・ ジプロピレングリコールモノメチルエーテル ・ トリプロピレングリコールモノメチルエーテル ・ 1-アリルオキシ-2-プロパノール	・ α-ピネン ・ カンフェン ・ ミルセン ・ シネオール ・ α-テルピネン ・ シメン ・ dl-リモネン ・ シネオール ・ γ-テルピネン ・ テルピノレン ・ テルピネオール ・ β-テルピネオール ・ (-)-ボルネオール ・ 4-テルピネオール ・ α-テルピネオール ・ γ-テルピネオール ・ ロンギホレン ・ 4-イソプロペニルトルエン ・ フェネチルアルコール

■アルデヒド類　■カルボン酸類　■アルコール類　■エステル類　■芳香族類
■エーテル類　■グリコールエーテル類　■ケトン類　■テルペン類　■その他

銅精鉱に添加するか否かの違いにより浮遊選鉱剤から発生するガス成分の違いを比較するため、発生ガスの種類及び構成比を表 19 及び 20 に示す。

表 19　発生ガスの種類及び構成比

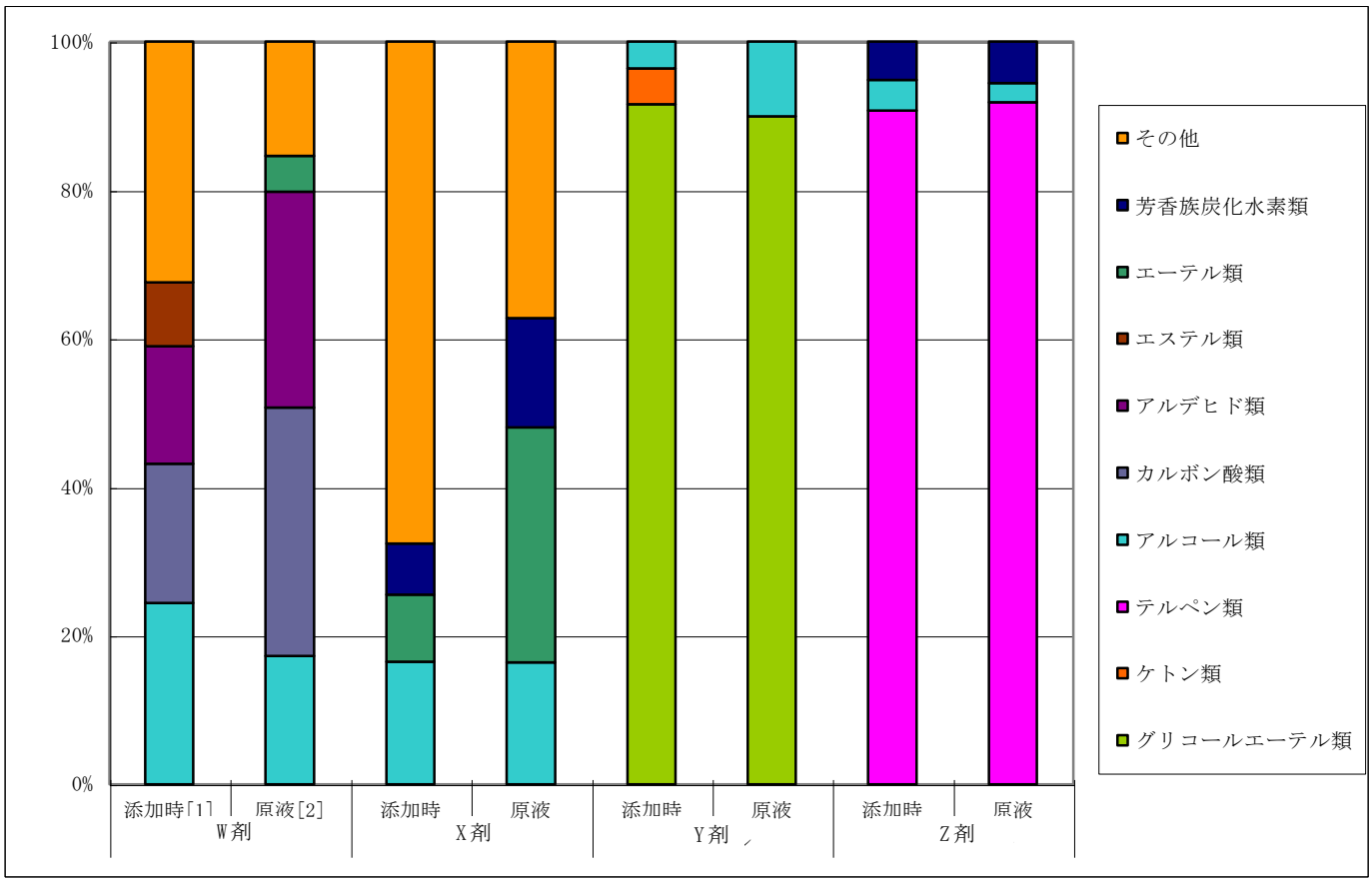


表 20　浮遊選鉱剤の発生ガスの比較（%）

種類	W 剤		X 剤		Y 剤		Z 剤	
	添加時(*注)3	原液(*注)4	添加時	原液	添加時	原液	添加時	原液
グリコールエーテル類	0.0	0.0	0.0	0.0	91.5	89.9	0.0	0.0
ケトン類	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0
テルペン類	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	91.8
アルコール類	24.4	17.3	16.5	16.4	3.6	10.1	4.1	2.6
カルボン酸類	18.8	33.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
アルデヒド類	15.8	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
エステル類	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
エーテル類	0.0	4.8	9.0	31.7	0.0	0.0	0.0	0.0
芳香族炭化水素類	0.0	0.0	6.9	14.7	0.0	0.0	5.2	5.6
その他	32.4	15.4	67.6	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0

(1) W 剤の発生ガスの比較では、原液のみではエーテル類が検出されているのに対し、試料 A に添加した場合にエステル類が検出されている。試料 A と何らかの反応をして変化したものと考えられる。

(2) X 剤の発生ガスの比較について、発生ガスの種類は同じであるが、構成比は異なっていた。

(3) Y 剤の発生ガスの比較では、発生ガスの種類こそ異なっているが、主成分のグリコールエーテル類の割合は同じであった。

(4) Z 剤の発生ガスの比較では、発生ガスの種類及び構成比が殆ど同じであった。

4-3. 貨物運搬船におけるサンプリング及び定性分析結果

4-3-1. 臭気ガス成分の定性分析

佐賀関港に入港中の運搬船の貨物倉から臭気ガスを、また、ハッチカバー(貨物倉側の面)に付着した結露水をそれぞれ採取した。採取時期は、いずれもハッチカバー開放とほぼ同時であった。

翌日、１番貨物倉から採取した揚荷直後の試料Aの貨物温度は、42.6℃であった。

なお、当時、大分市の外気温は、10.7～13.3℃だった。

銅精鉱の船倉内のガスをテトラパックに採取し、固相マイクロ抽出-ガスクロマトグラフ質量分析による定性分析を行った。固相抽出には、無極性の吸着固相ファイバーを用いた。（表 21 参照）

表 21 臭気ガス成分の定性分析結果

試料名	検出成分	備考
銅精鉱の船倉内の臭気ガス成分	トルエン	芳香族炭化水素
	キシレン	
	ジメチルアセトアミド	エステル化合物
	フェノール	フェノール類

4-3-2. 結露水の分析

結露水の pH を pH メーターにより測定を行った。また、ICP 発光分光分析装置及びイオンクロマトグラフ装置により陽イオン及び陰イオンの定性分析を行った。

(*注)3　銅精鉱に浮遊選鉱剤を 5%添加した時に発生したガス成分

(*注)4　浮遊選鉱剤のみから発生したガス成分

4-3-2-1. 結露水の pH 測定結果を表 22 に示した。

表 22　結露水の pH 測定結果

試料名	pH
結露水	7.7

4-3-2-2. 結露水のイオンクロマトグラフ及び ICP 定性分析測定結果を表 23 に示した。

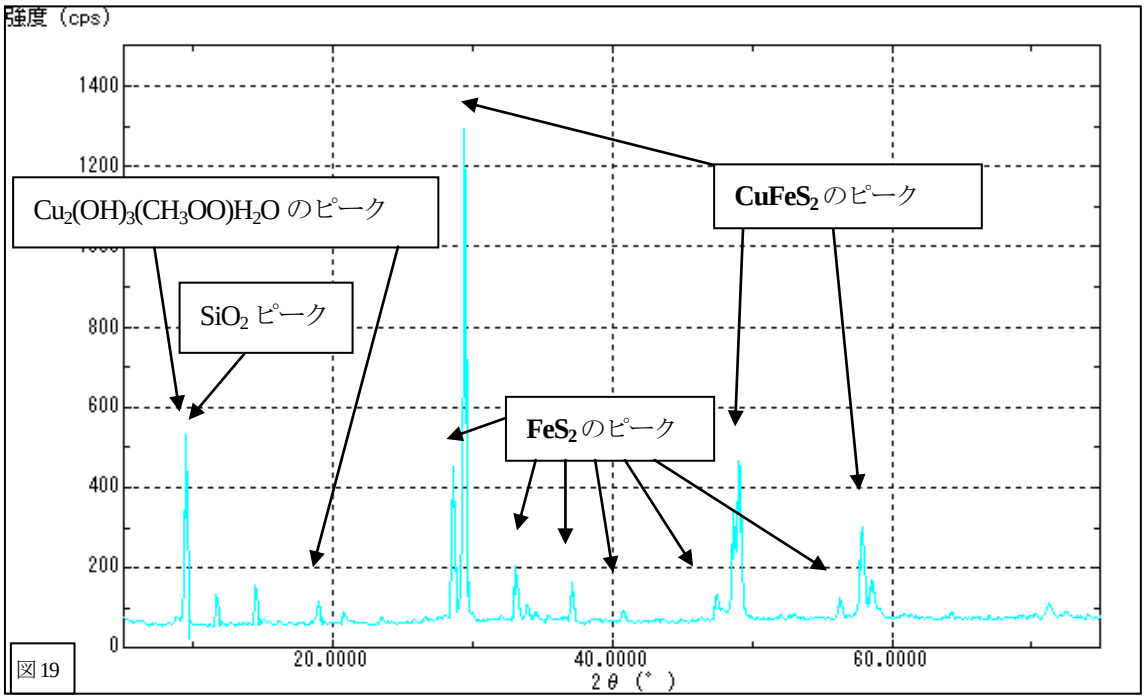
表 23　結露水の定性分析結果

濃度範囲	検出された元素
100 mg/L 以上	Ca：130 mg/L
10～100 mg/L	－
1～10 mg/L	Cl：6 mg/L Na：4 mg/L、SO_4^{2-}：2 mg/L Mg：1 mg/L、Ba：1 mg/L
1 mg/L 以下	K

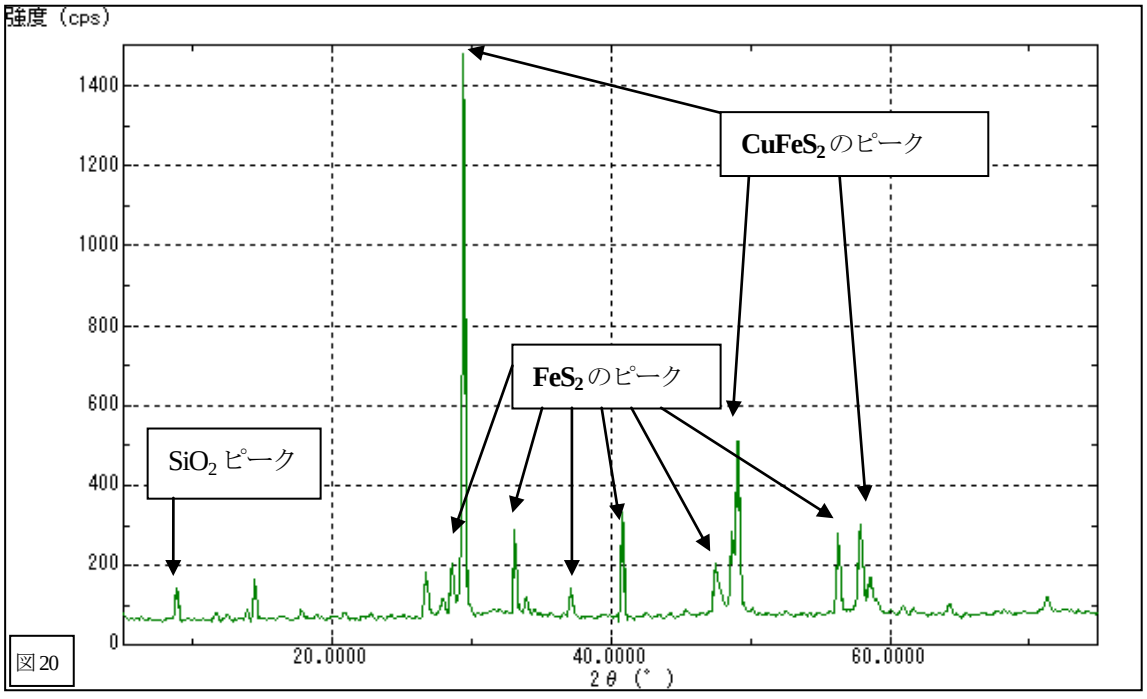
4-4. 銅精鉱の種類別 X 線回折測定結果

4-4-1. 試料 A、試料 B 及び試料 C の X 線回折測定結果

種類別の X 線回折測定結果を図 19、図 20 及び図 21 に示した。



試料 A



試料 B

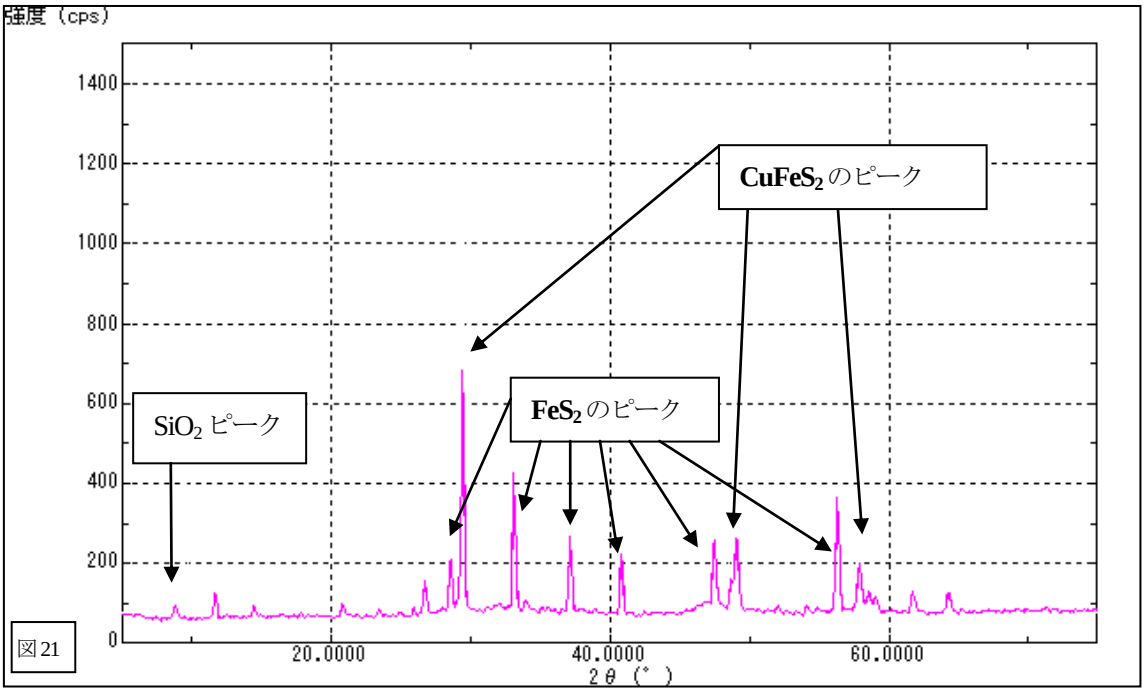
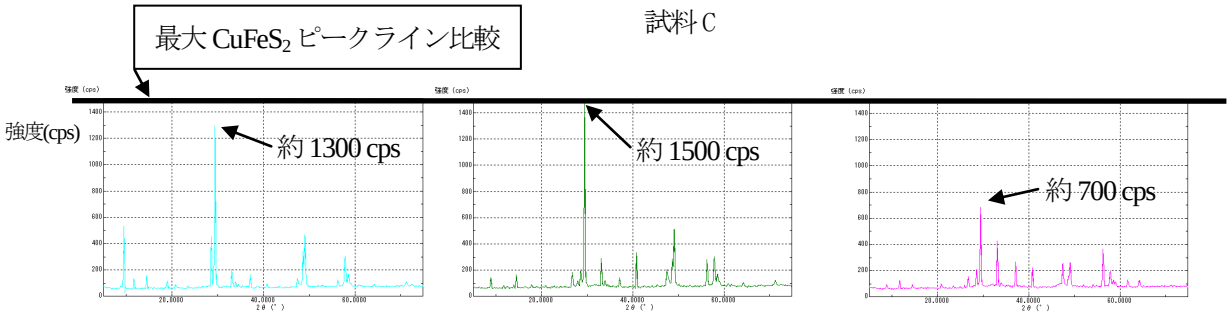


図 21

試料 C



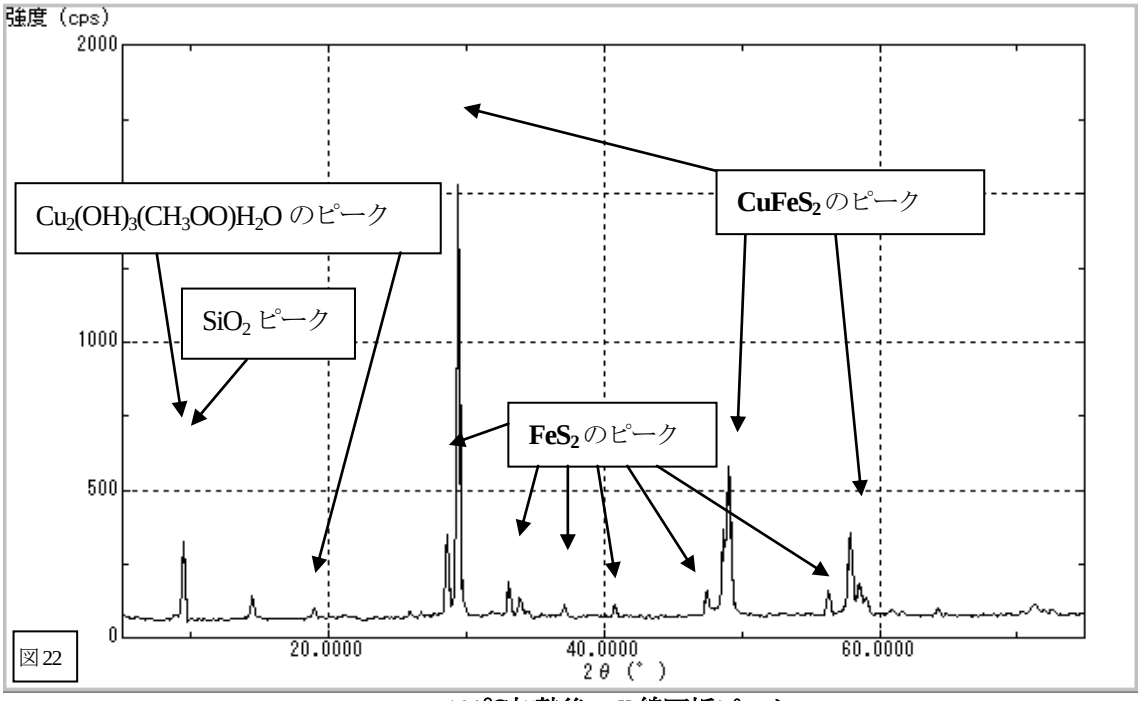
試料 A　　試料 B　　試料 C

(1) 試料 C について $CuFeS_2$ のピークの強度(*注)5 が 3 種類の中でもっとも低いことが確認された。これは $CuFeS_2$ の割合が最も低いものと考えられる。
(2) 試料 C について FeS_2 のピークの強度が高いことが確認された。
(3) 上記(1)，(2)から銅精鉱(種類別)の X 線回折結果について、3 種類の中で酸素消費速度の遅い試料 C については、$CuFeS_2$ のピークがその他の種類と比較すると低いことが確認された。それが直接酸素消費速度と関係するかどうかは現在のところ解析出来ていない。$CuFeS_2$ のピークが低いということは、構造的に銅精鉱(試料 C)について、その他の種類とは異なる化合形態であると考えられる。

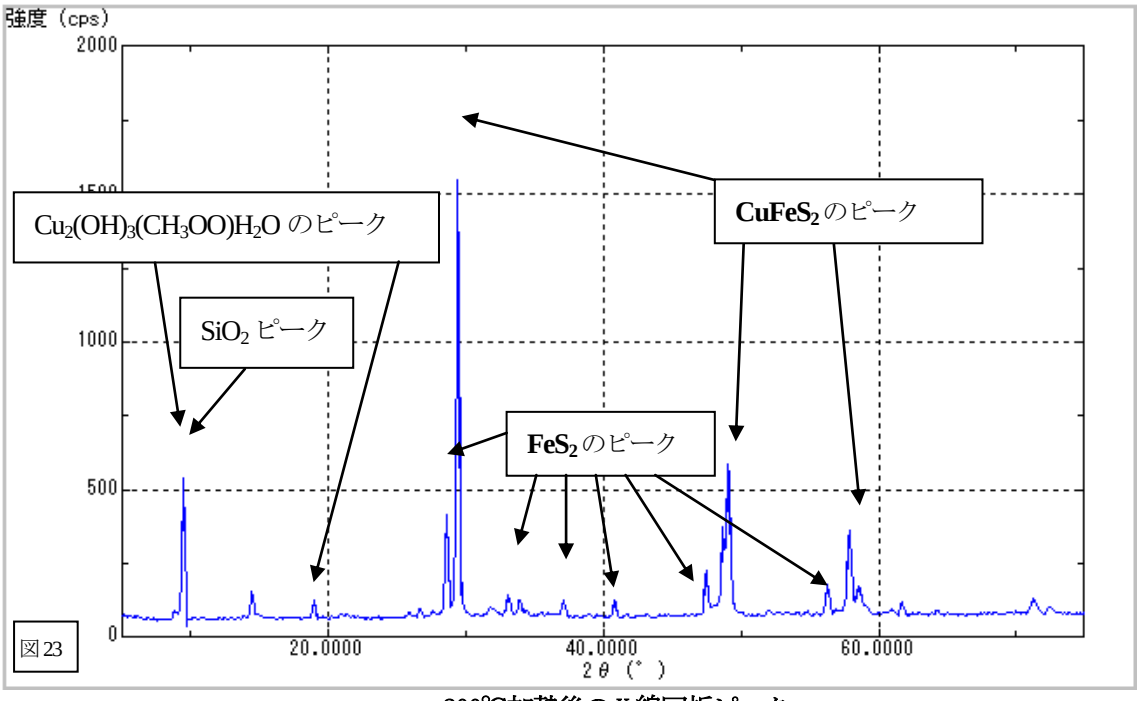
(*注)5 ピーク強度が高いこと(単純に同条件で分析した場合)は、試料におけるそのピークの化合物の割合が高いことを示す。

4-4-2. 加熱試験後のＸ線回折測定結果

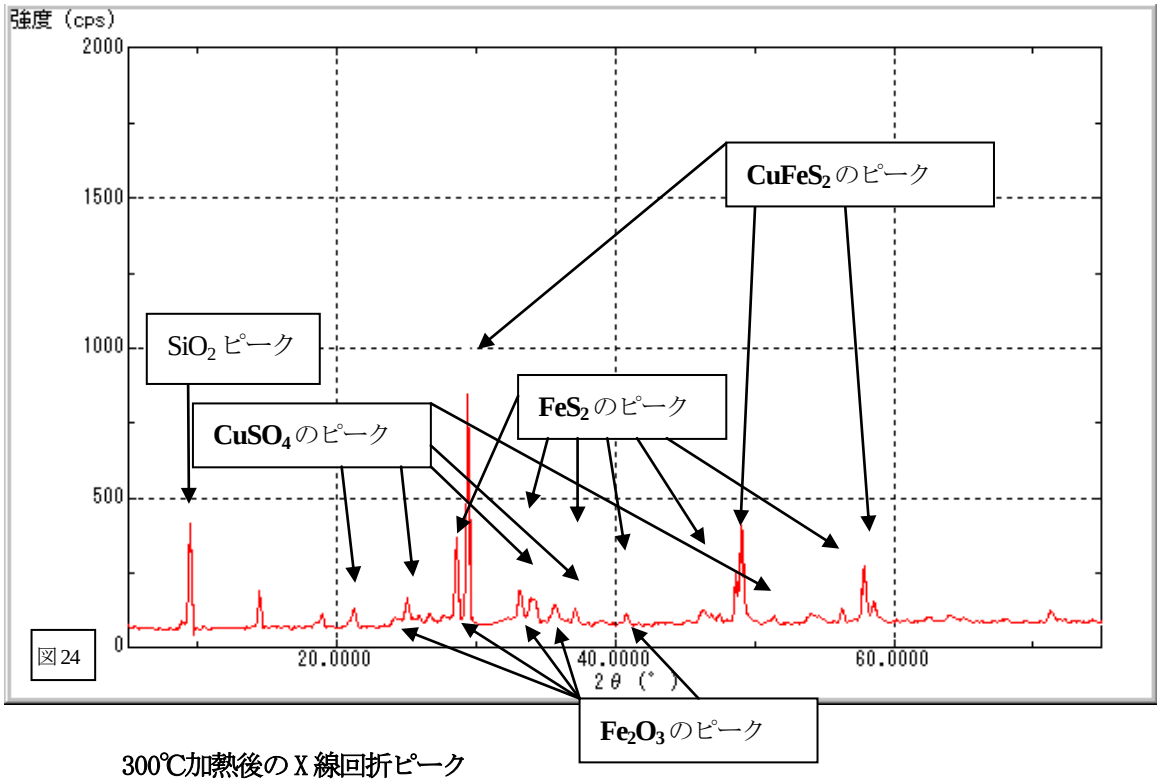
試料Ａを 100℃、200℃及び 300℃による加熱試験を行い、Ｘ線回折装置を用いて温度による変化を確認した。図 22～24 にそれぞれ加熱後のＸ線回折ピークを示した。



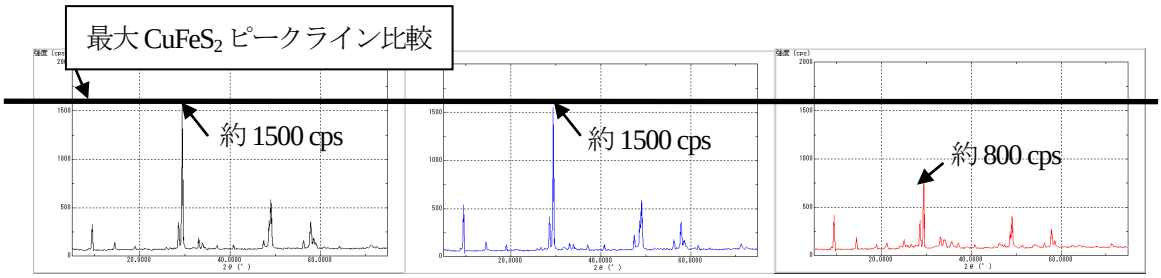
100℃加熱後のＸ線回折ピーク



200℃加熱後のＸ線回折ピーク



300℃加熱後の X 線回折ピーク



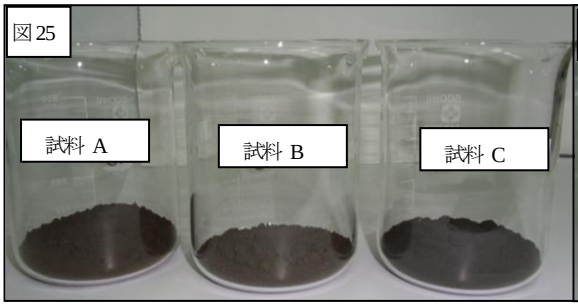
(1) 100℃及び200℃加熱後のピークについては、ほとんど変化が見られなかった。
(2) 300℃に加熱した後は $CuFeS_2$ のピークの強度が低下し、Fe_2O_3 及び $CuSO_4$ のピークが確認された。
(3) 上記(1), (2)より、加熱することにより $CuFeS_2$ の化合形態が変化したものと考えられる。

4-5. 補足試験

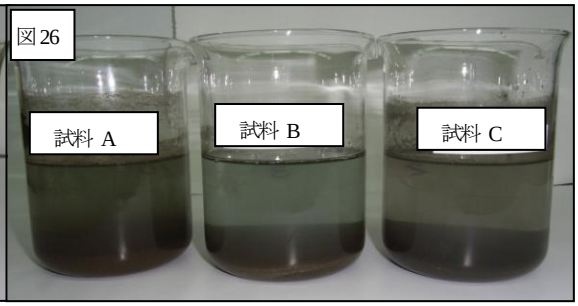
銅精鉱の種類別純水洗浄試験

銅精鉱(種類別)の洗浄試験(4-2-4-1 と同様操作)を行った。

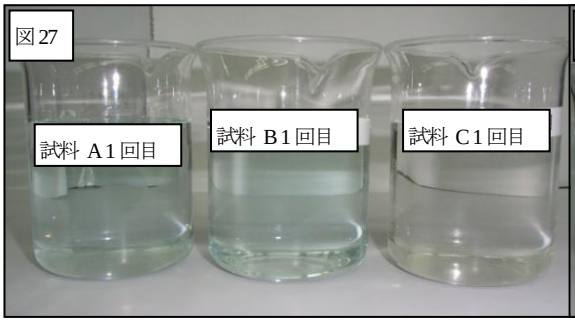
試料採取時　図 25、1 回目の純水洗浄試験 30 分間放置後　図 26、1 回目のろ液　図 27、2 回目のろ液　図 28 に示す。



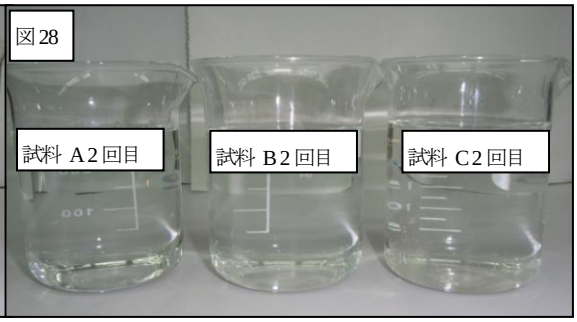
試料採取時



1 回目 30 分放置後



1 回目ろ液



2 回目ろ液

ろ液の pH 測定及び ICP による定性結果を表 24 及び 25 に示した。

表 24　　pH 測定結果

濃度範囲	試料 A		試料 B		試料 C	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
pH 測定結果	4.1	4.5	4.7	4.9	7.9	7.7

表 25　　銅精鉱(種類別)の ICP 定性結果　　単位：%

濃度範囲	試料 A		試料 B		試料 C	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
0.1 %以上	SO_4^{2-} :0.78 Cu :0.12 Ca :0.16	SO_4^{2-} :0.43 Ca :0.16	SO_4^{2-} :0.95 Cu :0.14 Zn :0.30	SO_4^{2-} :0.13	SO_4^{2-} :0.52 Ca :0.18	SO_4^{2-} :0.38 Ca :0.15
0.1 %～0.01 %	Mg :0.04 Mn :0.03 Zn :0.05	Cu :0.02	Ca :0.07 Mg :0.04	Cu :0.03 Ca :0.01 Zn :0.04	－	－
0.01 %未満	Fe	Fe, Mg Mn, Zn	Fe, Mn	Fe, Mg, Mn	Cu, Fe, Mg Mn, Zn	Cu, Fe, Mg Mn, Zn

SO_4^{2-}(硫酸イオン)は総てのろ液で 0.1 %以上検出されているが，Cu(銅)は試料 A、B では 0.1%以上検出されたが、試料 C では 0.01%未満であった。また、試料 A、B のろ液は酸性であり、試料 C は弱アルカリ性であった。

このことから試料 A、B は、反応性が高く空気中の酸素で酸化され、水溶性である $CuSO_4^{2-}$(硫酸銅)が生成していると考えられる。

5. まとめ

(1) 密封容器中の銅精鉱の酸素消費速度については、空隙 30 %及び 70 %の割合について測定容器の容量が少ないために大きい違いはでなかった。また、温度は顕著に高温であれば酸素消費速度が速くなることが確認された。

水分の添加については、通常銅精鉱に含まれている水分値は 5～8%程度なので 10 %ぐらい水分を添加して測定を行った。水分 15 %相当での結果は、添加前に比べ酸素消費速度遅くなることが確認された。

銅精鉱の種類別の測定は、試料 C の酸素消費速度がその他の銅精鉱と比べ酸素消費速度が遅いことが確認された。その中でも環境温度 40 ℃での試料 C の酸素消費速度は、試料 A、B と比べて明らかに遅いことが確認された。

(2) 運搬船貨物倉内の臭気ガス成分は、トルエン、キシレン及びフェノールと有害な成分が検出された。

(3) 試料 A を積載した貨物のハッチカバーに付着していた結露水を分析した結果より、硫化物のガスが発生し、そのガスが結露水に吸収される可能性も考えられるが、SO_4^{2-}の成分は低い値であった。このことから運搬中に高濃度の硫化水素等のガスが発生した可能性は少ないと思われる。

(4) 浮遊選鉱(*注6)剤の影響については、浮遊選鉱剤のみを空隙 30 %で酸素測定を行った結果、浮遊選鉱剤によって異なる結果が確認された。浮遊選鉱剤そのものが空気中の酸素により酸化されることが確認された。

また、X 剤の成分に運搬船船倉内で検出された臭気ガス成分のトルエン及びキシレンが検出された。

上層及び下層の試験においては、下層の方が酸素濃度は低くなる傾向であった。

(5) 銅精鉱(種類別)の X 線回折結果について 3 種類の中で酸素消費速度の遅い試料 C については、$CuFeS_2$ のピークがその他の種類と比較すると低いことが確認された。それが直接酸素消費速度と関係するかどうかは現在のところ解析出来ていない。$CuFeS_2$ のピークが低いということは構造的に銅精鉱(試料 C)については、その他の種類とは異なる化合形態であると考えられる。

また、試料 A を加熱した結果は、200 ℃まではほとんど変化しないが、300 ℃からは $CuFeS_2$ のピークが低くなり、Fe_2O_3 及び $CuSO_4$ のピークが確認された。加熱することにより $CuFeS_2$ の化合形態が変化したものと考えられる。

(6) 白色部分 1

80 ℃の酸素消費試験を行った際に白い模様が析出された(図 29 参照)。白色部分を EDX で測定したところ、酸素(54 %)、硫黄(17 %)、カルシウム(26 %)及び銅(2 %)が検出された。上記の補足試験で行った洗浄試験で溶出された元素が検出されたことになる。これらは試料 A の水溶性成分が溶け出した後に、水分が蒸発して析出したと考えられる。

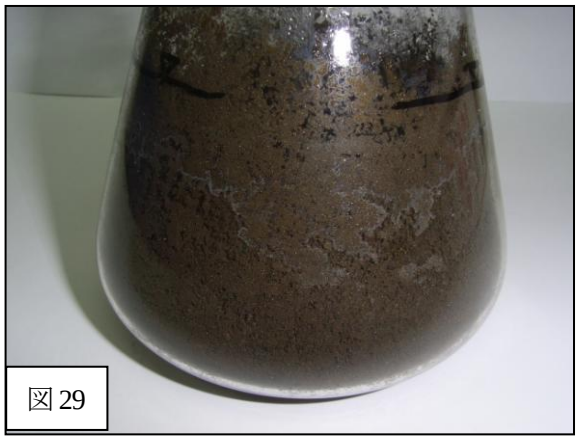


図 29

(*注6) 一般に岩石の表面は親水性であり、金属は疎水性であることが多いといわれる。この特性を活かして採掘した鉱石を有用鉱物と不用鉱物とに分離する方法である。鉱山から産出された岩石を大型のミルで粉砕し、スライム状にした上で気泡剤(浮遊選鉱剤)を添加する。この状態で攪拌させると金属を含む鉱石が泡の表面に濃集して回収が容易になる。一般に浮遊選鉱剤は界面活性剤や油脂など、鉱物や排水処理の状況を踏まえて使い分けられる。

(7)　白色部分２

試料 A を 105 ℃で乾燥した試料に一部白色部分が確認された(図 30 参照)。その白色部分だけを取り X 線回折装置で測定したところ(図 31 参照)$CuFeS_2$ 及び $CuSO_4(H_2O)$ を検出した。

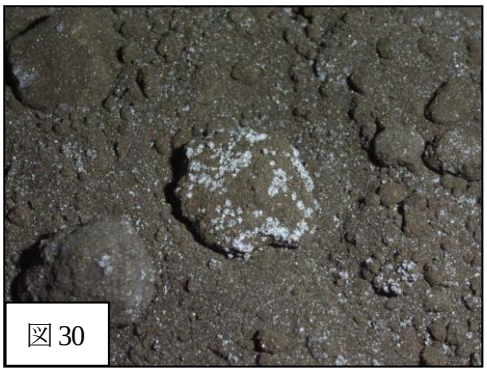


図 30

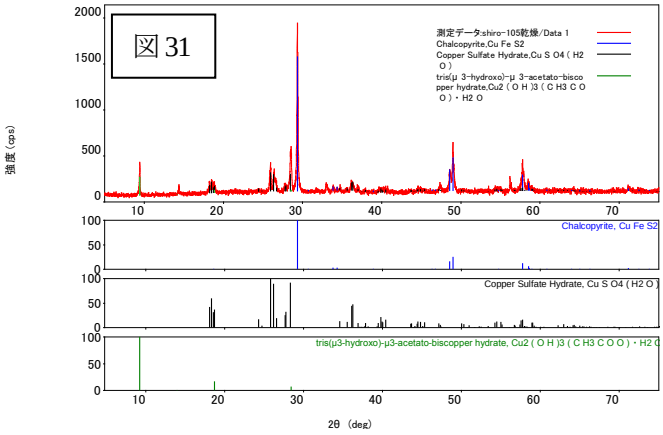


図 31
測定データ:shiro-105乾燥/Data 1
Chalcopyrite,Cu Fe S2
Copper Sulfate Hydrate,Cu S O4 (H2 O)
tris(μ 3-hydroxo)-μ 3-acetato-bisco pper hydrate,Cu2 (O H)3 (C H3 C O O) ・ H2 O
強度 (cps)
Chalcopyrite, Cu Fe S2
Copper Sulfate Hydrate, Cu S O4 (H2 O)
tris(μ3-hydroxo)-μ3-acetato-biscopper hydrate, Cu2 (O H)3 (C H3 C O O) ・ H2 O
2θ (deg)

(8)　所見

銅精鉱の酸素消費量は、時間経過に伴って直線的に増加する。直線の傾きに相当する酸素消費の反応速度は、銅精鉱の種類により異なる(影響する)ことが確認された。銅精鉱の産地(化合分子形態、使用されている浮遊選鉱剤など)により、酸素消費の反応速度が異なることが確認された。

以上の結果から：

➢ 試料 A は使用されている浮遊選鉱剤 X 剤が強アルカリ性であるにもかかわらず、洗浄試験のろ液が酸性を示していることから、酸化反応が起きやすい精鉱、あるいは条件下にあることが考えられる。

一般的には $CuFeS_2$（黄銅鉱）の酸化は以下のような反応式(*注)7 となる。

① 黄鉄鉱の酸化により、硫酸と硫酸第１鉄が発生する。

$FeS_2 + 70 + H_2O \rightarrow FeSO_4 + H_2SO_4$

② 硫酸第１鉄から硫酸第２鉄への酸化反応が起こる。

$4FeSO_4 + O_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$

③ 黄銅鉱（銅精鉱）の酸化と硫酸銅の発生に至る。

$4CuFeS_2 + 17O_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 4CuSO_4 + 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$

$CuFeS_2 + 2Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow CuSO_4 + 5FeSO_4 + 2S$

➢ 試料 C については X 線回折測定結果から $CuFeS_2$ のピークが低く(試料におけるそのピークの化合物の割合が低いことを示す)、純水洗浄試験の Cu 溶出率が低いことから、他の種類の銅精鉱に比べ酸化性が低く安定していると考えられる。

(以 上)

(*注)7 "加藤武夫、「鉱床地質学」冨山房、 昭和 12 年"、及び"Konishi,Saitoh,Nomura(Osaka Prefecture Univ.)PYRITE BY THE THERMOPHILIC ARCHAE ACIDINUS BRIERLEYI 120IN BATCH AND CONTINUOUS-FLOW STIRRED TANK REACTORS,Cu2007,The John E.Dutrizac International Symposium on Copper Hydrometallurgy,2007" http://www.jogmec.go.jp/mric_web/current/08_56.html 及び JOGMEC ニュース＆レポート 2008 年 56 号より引用。